

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА»

з курсу

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ І ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання
та слухачів 2-ої вищої освіти спеціальності 7.05070103,
8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Харків
ХНАМГ
2013

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Електропостачання району міста» з курсу «Електропостачання міст і промислових підприємств» (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання та слухачів 2-ої вищої освіти спеціальності 7.05070103, 8.05070103 «Електротехнічні системи електро-споживання») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, В. М. Гаряжа. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 60 с.

Укладачі: В. Ф. Харченко,
В. Г. Воропай,
В. М. Гаряжа

Рецензент: к.т.н. Д. М. Калюжний

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст,
протокол № 7 від 08.06.2012 р.

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

У даних методичних вказівках до виконання курсового проекту з електропостачання району міста наведені основні методи розрахунків електричних навантажень і елементів мережі, а також довідкові матеріали, необхідні при розробці проекту. Курсовий проект повинен включати пояснювальну записку в обсязі 40-50 сторінок і графічний матеріал, поданий двома аркушами формату А3. На першому аркуші зображують генеральний план мікрорайону і району міста, куди наносять відповідно мережу 0,4 і 10 кВ. На другому кресленні зображують електричну схему джерела живлення або міської трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ за вказівкою викладача, із зазначенням типу і потужності обраного електричного устаткування. Завдання на виконання проекту видає викладач і містить вихідні дані на проектування: генеральний план мікрорайону і району міста, характеристика споживачів, інформація про джерело живлення для мікрорайону і району. Курсовий проект можна умовно розділити на три частини. Перша частина містить питання визначення електричних навантажень міської електричної мережі. Важливо на цьому етапі розрахунку з достатньою точністю визначити навантаження мікрорайону і району міста, що в остаточному підсумку визначає техніко-економічні показники запроектованої мережі електропостачання. Друга частина проекту спрямована на раціональний вибір схеми електропостачання мікрорайону і району міста за допомогою техніко-економічного аналізу різних варіантів електропостачання підприємства. У третій частині проекту здійснюється вибір електричного устаткування з урахуванням розрахункових струмів короткого замикання.

2. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ І КОРОТКИЙ ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Для виконання курсового проекту «Електропостачання району міста» студенту видається генеральний план мікрорайону міста з переліком будівель і споруд, а також схема заповнення району міста мікрорайонами.

Відповідно до отриманого завдання студент визначає розрахункову потужність на введеннях житлових будинків, громадсько-комунальних будівель і відповідно до плану району міста розраховує навантаження зовнішнього освітлення. Це дає підставу для побудови картограми навантажень, визначення кількості міських трансформаторних підстанцій і визначення центрів електричних навантажень для розміщення їх на території району.

На основі отриманих результатів визначають розрахункове навантаження міських підстанцій, мікрорайону, району міста в цілому і вибирають потужність джерела живлення.

Важливою складовою частиною проекту є вибір конструктивної схеми і визначення перетинів мереж напругою 0,4 і 10 кВ. Після обґрунтування і вибору живильних схем проводять розрахунок струмів короткого замикання і вибір електротехнічного устаткування підстанцій і джерела живлення району міста.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
Кафедра «Електропостачання міст»

З А В Д А Н Н Я - 01

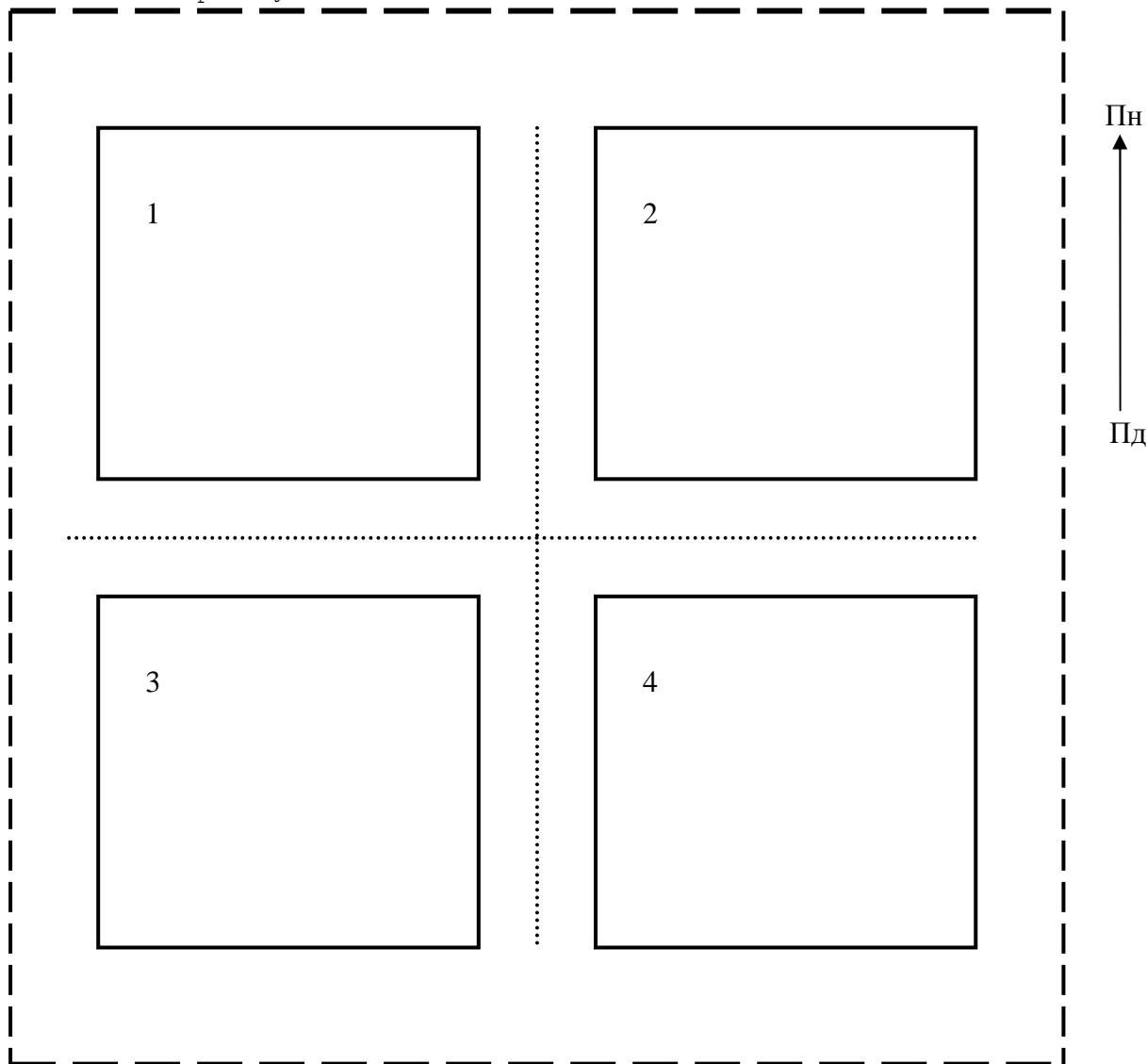
на курсовий проект: «Електропостачання району міста» з курсу: "Електропостачання міст і промислових підприємств" студенту _____ курсу _____ факультету

(П . І . П .)

Вихідні дані:

1. План району міста

М 1:10000



1, 2, 3, 4 – мікрорайони міста; — периферійні вулиці;
..... внутріквартальні вулиці.

2. Номінальна напруга розподільної мережі 10 кВ.

3. Кількість і місце розташування джерел живлення щодо району міста _____

5. Енергоносії для готування їжі _____

6. Число годин використання максимуму навантажень _____

7. Термін виконання _____

8. Дата видачі _____

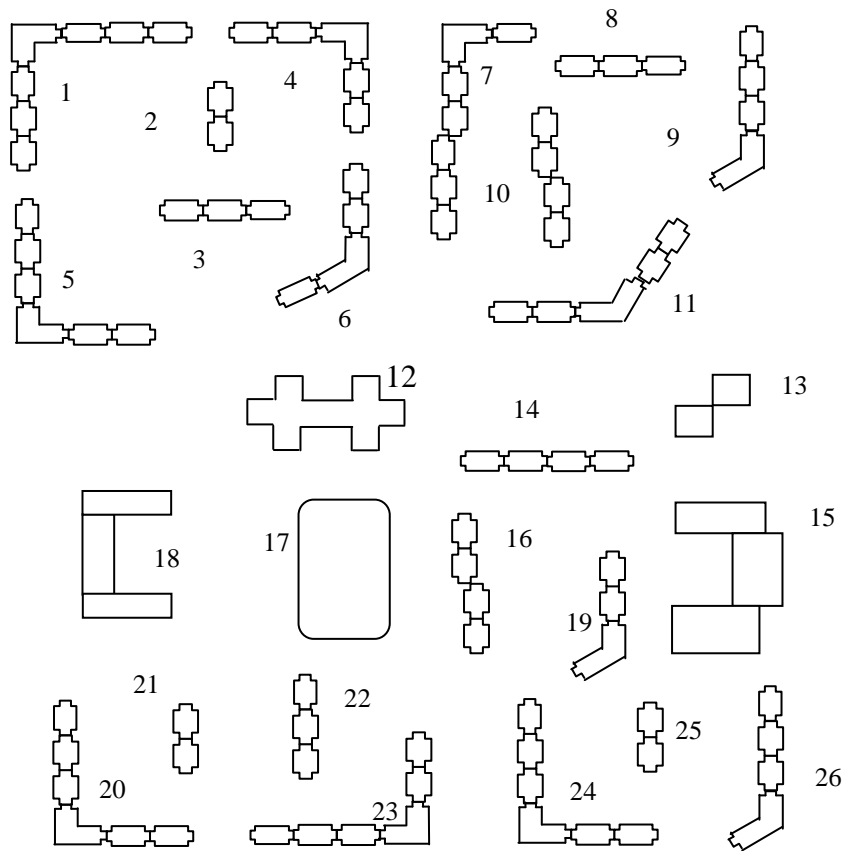
9. Одержав _____ підпис

10. Видав _____

11. План мікрорайону (див. на звороті)

План мікрорайону

М 1:5000



Специфікація:

Номер на плані	Найменування	Кількість під'їздів	Кількість поверхів	Кількість квартир
1	Житловий будинок	7	9	252
5,20,23,24	Житловий будинок	6	9	216
6,26	Житловий будинок	4	9	144
2,21,25	Житловий будинок	2	9	72
3,8,22	Житловий будинок	3	9	108
7	Житловий будинок	7	12	336
9,10,16,14	Житловий будинок	4	12	192
19	Житловий будинок	3	12	144
11	Житловий будинок	5	12	240
4	Житловий будинок	5	9	180
13	Житловий будинок	2	16	128
12	Дитячий садок	-	-	400 місць
18	Школа	-	-	2000 місць
17	Стадіон	-	-	-
15	Торговий центр	-	-	2000 м ²

3. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Розрахунок навантажень міської мережі включає визначення навантажень окремих споживачів: житлових будинків, громадських будівель, комунально-побутових споживачів, зовнішнього освітлення і елементів системи електропо-

стачання: розподільних ліній, трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, центрів живлення і т.д.

3.1 Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків

Відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.5-23-2003 житло (квартири) щодо оснащеності побутовими електроприладами і їхніми розрахунковими навантаженнями розподіляється на три види:

- 1 - житло (квартири) в будинках масового будівництва, споруджених і тих, що споруджуються, із загальною площею від 35 до 95 м² і заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів до 30 кВт;
- 2 - житло (квартири) у багатоквартирних будинках, споруджених або тих, що споруджуються, загальною площею від 100 до 300 м² і заявленою (встановленою) потужністю електроприймачів від 30 до 60 кВт;
- 3 - житло (квартири) у котеджах, будинках, споруджених або тих, що споруджуються, з розрахунку, як правило, на одну родину із загальною площею від 150 до 600 м² і заявленим Замовником високим рівнем комфортності, що відповідає потужності електроприймачів від 60 до 140 кВт.

Для житла 1-го виду (квартир багато- і малоквартирних будинків, будинків на одну родину і будиночків на ділянках садовничих товариств) встановлюються п'ять рівнів електрифікації і відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

- I - житло (квартири) з плитами на природному газі;
- II - житло (квартири) з плитами на зрідженому газі;
- III - житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 8,5 кВт;
- IV - житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт;
- V - будиночки на ділянках садовничих товариств.

Для житла 2-го виду встановлюються два рівні електрифікації і відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

- I - житло (квартири) з плитами на природному газі;
- II - житло (квартири) з електричними плитами потужністю до 10,5 кВт.

Встановлені нормативи питомих електричних розрахункових навантажень зведені в таблицю (додаток, табл.1) і враховують застосування в житловому приміщенні побутових кондиціонерів повітря (або інших аналогічних за потужністю приладів і комфортного електричного додаткового опалення в межах 7-15% від загальної потреби в теплі з розрахунку 60-120 Вт на 1 м² додатково опалювальної площі).

Розрахункове навантаження групи житла з однаковим питомих електричних навантаженням, приведене до лінії живлення, введення в житловий будинок, шин напругою 0,4 кВ ТП, $P_{жN}$, $Q_{жN}$ визначається за формулами:

$$P_{жN} = P_{жп} N, \quad (3.1)$$

$$Q_{жN} = P_{жN} \operatorname{tg} \varphi_{ж}, \quad (3.2)$$

де $P_{жп}$ - питома розрахункова електрична навантаження одного житла

(квартири), що вибирається за табл. 1 Додатку залежно від прийнятого рівня електрифікації і кількості квартир, приєднаних до даної ланки електромережі, кВт/житло; N - кількість житла (квартир), приєданого до введення, лінії, ТП. Питомі розрахункові електричні навантаження житла охоплюють навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень, $\text{tg}\varphi_{\text{жс}}$ - коефіцієнт реактивної потужності (додаток, табл. А).

Розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, приведенне до введення, лінії або шин напругою 0,4 кВ ТП, $P_{\text{сил}}$, визначається за формулами:

$$P_{\text{сил}} = K_{\text{н.л}} \sum_1^n P_{\text{л}} + K_{\text{н.сан}} \sum_1^n P_{\text{сан}}, \quad (3.3)$$

$$Q_{\text{сил}} = P_{\text{л}} \text{tg}\varphi_{\text{л}} + P_{\text{сан}} \text{tg}\varphi_{\text{сан}}, \quad (3.4)$$

де $K_{\text{н.л}}$ - коефіцієнт попиту для ліфтів, що визначається за табл. 3 додатку, залежно від кількості ліфтових установок і кількості поверхів будинку; $P_{\text{л1}} \dots P_{\text{лn}}$ — встановлена потужність електродвигуна кожного з ліфтів за паспортом, кВт; $P_{\text{сан1}} \dots P_{\text{санn}}$ - встановлена потужність кожного електродвигуна сантехнічних установок за їхніми паспортами, кВт; $K_{\text{н.сан}}$ - коефіцієнт попиту для електродвигунів сантехнічних установок, визначається за табл. 4 додатку. $\text{tg}\varphi_{\text{л}}$ і $\text{tg}\varphi_{\text{сан}}$ — коефіцієнти, що враховують реактивне навантаження квартир і загально-домових електроприймачів відповідно. Значення коефіцієнта потужності на наведенні житлових будинків приймаються з табл. 7 додатку.

Якщо як силове навантаження виступають ліфти різної потужності, то

$$P_{\text{с}} = (P_{\text{л1}} n_{\text{л1}} + P_{\text{л2}} n_{\text{л2}}) K_{\text{н}}, \quad (3.5)$$

де $K_{\text{н}}$ – коефіцієнт попиту ліфтів (додаток, табл.2); $P_{\text{л1}}=7 \text{ кВт}$; $P_{\text{л2}}=11 \text{ кВт}$ – потужність ліфтів першого і другого типів; $n_{\text{л1}}$ і $n_{\text{л2}}$ – їхня кількість.

Розрахункове навантаження житлового будинку в цілому (від житла, силових електроприймачів і вбудованих або прибудованих приміщень) за умови, коли найбільшою складовою є навантаження від житла, $P_{\text{б.жс}}$ визначаються за формулами:

$$P_{\text{б.жс}} = P_{\text{жс}} + 0,9 P_{\text{сил}} + \sum_1^n P_{\text{зп}} K_i, \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{б.жс}} = Q_{\text{жс}} + 0,9 Q_{\text{сил}} + \sum_1^n Q_{\text{зп}} K_i, \quad (3.7)$$

де $P_{\text{жс}}$ і $Q_{\text{жс}}$ відповідно – розрахункове навантаження електроприймачів житла (квартир), кВт; $P_{\text{сил}}$ і $Q_{\text{сил}}$ відповідно – розрахункове навантаження силових електроприймачів житлового будинку, кВт; $P_{\text{зп1}} \dots P_{\text{зпn}}$ і $Q_{\text{зп1}} \dots Q_{\text{зпn}}$ відповідно – розрахункові навантаження вбудованих або прибудованих цивільних приміщень, що живляться від електрощитової житлового будинку і визначаються за методикою розрахунку навантажень громадських будівель (див. наступний розділ). $K_{\text{у+1}} \dots K_{\text{у+n}}$ – коефіцієнти участі в максимумі навантаження квартир і силових

електроприймачів житлового будинку навантажень вбудованих і прибудованих приміщень, що визначаються за табл. 6 додатку.

Для вибору параметрів електричних мереж необхідно знати повне навантаження:

$$S_{\text{б.ж.}} = \sqrt{P_{\text{б.ж.}}^2 + Q_{\text{б.ж.}}^2}, \quad (3.8)$$

де $P_{\text{б.ж.}}$ – активне навантаження житлового будинку, кВт;

$Q_{\text{б.ж.}}$ – реактивне навантаження житлового будинку, кВАр;

Приклад. Визначити навантаження житлового будинку, якщо відомо, що житло в цьому будинку щодо оснащеності побутовими електроприладами відноситься до першого виду згідно з встановленими нормами з однаковим питомим електричним навантаженням. Будинок має 7 під'їздів, 9 поверхів і 252 квартири. Квартири оснащені плитами на природному газі і з побутовими кондиціонерами.

Розв'язання.

1. За виразом (3.1) визначаємо активне навантаження житла (квартир), попередньо встановивши за табл. 1 додатку питоме розрахункове електричне навантаження одного житла:

$$P_{\text{жн}} = P_{\text{жп}} N = 0,84 * 252 = 211,7 \text{ кВт}.$$

2. Знаходимо реактивне навантаження житла (квартир):

$$Q_{\text{жн}} = P_{\text{жп}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{кв}} = 211,7 * 0,43 = 91 \text{ кВАр}.$$

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{кв}}$ – визначаємо за табл. 6 додатку.

3. Знаходимо повне навантаження житла (квартир):

$$S_{\text{жн}} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{211,7^2 + 91^2} = 230,4 \text{ кВА}.$$

4. Визначаємо силове активне навантаження житлового будинку за виразом (3.3) з урахуванням того, що як силове навантаження використовуються ліфти відповідно до рекомендацій табл. 8 додатку: $P_{\text{сил}} = 7 * 7 * 0,61 + 0 = 29,9 \text{ кВт}.$

У цьому виразі друга складова $P_{\text{сан}} = 0$, оскільки в 9-поверховому будинку не передбачається установка сантехнічних двигунів, а друга складова перетворюється у виразі (3.3) при $n_{\text{л2}} = 0$.

5. Визначаємо реактивне навантаження ліфтів: $Q_{\text{сил}} = P_{\text{л}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{л}} = 29,9 * 1,17 = 34,9 \text{ кВАр},$

$\operatorname{tg} \varphi_{\text{л}}$ – знаходимо з табл. 6 додатку.

6. Визначаємо повне силове навантаження: $S_{\text{сил}} = \sqrt{P_{\text{сил}}^2 + Q_{\text{сил}}^2} = \sqrt{29,9^2 + 34,9^2} = 45,9 \text{ кВА}.$

7. Розрахункове активне навантаження житлового будинку в цілому визначаємо за виразом (3.5): $P_{\text{б.ж.}} = 211,7 + 0,9 * 29,9 + 0 = 238,6 \text{ кВт}.$

У цьому виразі $P_{\text{гр}} = 0$, оскільки в житловому будинку відсутні вбудовані і прибудовані приміщення.

8. За виразом (3.6) визначаємо реактивне навантаження житлового будинку:

$$Q_{\text{б.ж.}} = 211,7 * 0,43 + 0,9 * 29,9 * 1,17 = 122,5 \text{ кВАр}.$$

Значення коефіцієнтів потужності для квартир з плитами на природному газі і для ліфтових установок встановлюємо за табл. 7 додатку.

9. Визначаємо повне навантаження житлового будинку:

$$S_{б.ж.} = \sqrt{P_{б.ж.}^2 + Q_{б.ж.}^2} = \sqrt{238,6^2 + 122,5^2} = 268,2 \text{ кВА.}$$

Аналогічно визначаємо навантаження всіх житлових будинків і результати зводимо в табл. 3.1.

3.2 Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків

Навантаження громадських і комунальних будинків визначаємо за питомими навантаженнями на розрахунковий показник N:

$$P_{p.з.б.} = p_n N; \quad (3.8)$$

$$Q_{p.з.б.} = P_{p.з.б.} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{з.б.}, \quad (3.9)$$

де p_n - розрахункове питоме навантаження, визначається за табл. 11 додатку;

$\operatorname{tg} \varphi_{з.б.}$ - коефіцієнт реактивної потужності визначається за табл. 11 додатку.

Приклад. Розрахувати навантаження загальноосвітньої школи з електрофікованою їдальнею на 1320 учнів.

Розв'язання. З урахуванням $p_n = 0,25$ кВт/уч., $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ визначаємо розрахункове навантаження:

$$P_{p.з.б.} = p_n N = 0,25 * 1320 = 330 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.з.б.} = P_{p.з.б.} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 330 * 0,33 = 108,9 \text{ кВАр};$$

$$S_{p.з.б.} = \sqrt{P_{p.з.б.}^2 + Q_{p.з.б.}^2} = \sqrt{330^2 + 108,9^2} = 347,5 \text{ кВА.}$$

Розраховані навантаження на підводах громадських і комунальних будинків зводимо в табл. 3.2.

3.3 Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення

Зовнішнє освітлення- це освітлення вулиць і внутрішньоквартальне

$$P_{p.з.о} = P_{p.вул} + P_{p.к.о}$$

Розрахункове навантаження внутрішньоквартального освітлення визначаємо

$$P_{p.к.о.} = p_{п.к.о.} F, \quad (3.10)$$

так: де $p_{п.к.о.} = 1,2 \text{ кВт} / \text{га}$ - питоме навантаження внутрішньоквартального освітлення; F - площа мікрорайону (району), га.

Розрахункове навантаження освітлення вулиць знаходимо так:

$$P_{p.вул.} = \sum_{i=1}^m p_{п.з.о.і} L_i, \quad (3.11)$$

де L_i - довжина вулиць i -ої категорії, км; $p_{п.з.о.і}$ - питоме розрахункове навантаження освітлення вулиць i -ої категорії (додаток, табл.5.); m - кількість категорій вулиць.

Площу мікрорайону і довжину вулиць визначаємо в кожному конкретному випадку з урахуванням наданого плану мікрорайону і району міста.

Таблиця 3.1- Визначення розрахункових навантажень житлових будинків

Номер на генплані	Розрахункове навантаження житла				Розрахункове силове навантаження						Навантаження житлового будинку		
					Навантаження ліфтів				Навант. сан. техн. пр.				
	Кількість квартир n , шт.	Питоме навантаження квартир P_n , кВт	Активне навантаження $P_{ж}$, кВт	Реактивне навантаження $Q_{ж}$, кВар	Кількість ліфтів n_1/n_2 , шт.	Установлена потужність ліфтів, $P_{л.}$, кВт.	Активне навантаження, $P_{р.л}$, кВт	Реактивне навантаження, $Q_{р.л.}$, кВар	Активне навантаження, $P_{сан}$, кВт	Реактивне навантаження, $Q_{сан}$, кВар	$P_{б.ж.}$, кВт	$Q_{б.ж.}$, кВар	$S_{б.ж.}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	252	0,84	211,7	91	7/0	7/-	29,9	34,9			238,6	122,5	268,2

Таблиця 3.2 – Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків

Номер на генплані	Найменування громадських будинків	Питоме навантаження, P_n	Коефіцієнт реактивної потужності, $tg\varphi$	Розрахункове навантаження		
				$P_{р.г.б.}$, кВт	$Q_{р.г.б.}$, кВар.	$S_{р.г.б.}$, кВА
1	2	3	4	5	6	7
1	Школа на 1320 місць	0,25	0,33	330	108,9	347,5
...	

Приклад. Визначити навантаження внутрішньоквартального і вуличного освітлення, якщо площа мікрорайону дорівнює 51,2 га, а довжина вулиці категорії Б складає 2 км.

Розв'язання.

$$P_{p.k.o.} = p_{n.k.o.} F = 1,2 * 51,2 = 61,4 \text{ кВт};$$

$P_{p.z.o.}$ для вулиць категорії Б дорівнює 30 кВт/км (додаток, табл. 5)

$$P_{p.z.o.} = p_{n.z.o.} L = 30 * 2 = 60 \text{ кВт}.$$

3.4 Визначення потужності мікрорайону міста

Виходячі з того, що графіки навантажень споживачів мікрорайону відрізняються, то для розрахунку навантаження мікрорайону використовуємо метод «Коефіцієнта участі в максимумі».

Розрахункове навантаження мікрорайону визначаємо за формулою

$$P_{m.p.} = P_{max} + \kappa_1 P_1 + \kappa_2 P_2 + \dots + \kappa_n P_n, \quad (3.12)$$

$$Q_{m.p.} = Q_{max} + \kappa_1 Q_1 + \kappa_2 Q_2 + \dots + \kappa_n Q_n, \quad (3.13)$$

де P_{max} і Q_{max} відповідно - найбільше з однорідних електричних навантажень;

$P_1 \dots P_n$ і $Q_1 \dots Q_n$ - інші розрахункові навантаження;

$\kappa_1 \dots \kappa_n$ - їхні коефіцієнти участі в максимумі навантажень (додаток табл. 6).

Частіше за все P_{max} відноситься до однорідних житлових будинків (з одним видом кухонних плит). В цьому випадку P_{max} розраховується по формулі 3.12.

$$P_{max} = p_{n.kв.} \sum n_{кв} + 0,9 K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}), \quad (3.14)$$

$$Q_{max} = (p_{n.kв.} \sum n_{кв}) \text{tg} \varphi_{rd} + 0,9 K_c (\sum P_{л1i} n_{л1i} + \sum P_{л2i} n_{л2i}) \text{tg} \varphi_k, \quad (3.15)$$

де $p_{n.kв.}$ - питоме навантаження квартир при $n_{кв}$ в мікрорайоні; K_n - коефіцієнт попиту для ліфтових установок; $P_{л1i}$, $P_{л2i}$ - потужність ліфтових установок першого і другого типу відповідно; $n_{л1i}$, - кількість ліфтових установок першого і другого типу відповідно.

Рекомендації:

1. При орієнтовних розрахунках і при розрахунках, коли кількість квартир у мікрорайоні не перевищує 1000, можна використовувати вираз

$$P_{p.ж.} = p_{ж.б.п.} G * 10^{-3}, \quad (3.16)$$

де $p_{ж.б.п.}$ - питоме навантаження житлових будинків, приведені до шин РУ 0,38 кВ ТП, віднесені до 1 м² корисної площі квартир, приймається за табл. 19 додатку, Вт/м²; G - корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м².

2. З урахуванням культурно-побутових споживачів оцінка навантаження мікрорайону може розраховуватися так:

$$P_{p.m.p} = (p_{n.ж.б} + p_{n.зр.}) * G * 10^{-3}, \quad (3.17)$$

де $p_{n.ж.б}$ - питоме навантаження житлових будинків мікрорайону, приведене до шин 0,38 кВ міських ТП, віднесене до 1 м² корисної площі квартир і приймається за табл. 19 додатку; $p_{n.зр.}$ - питоме навантаження культурно-побутових споживачів, приймається при наявності будинків з електроплитами, дорівнює 2,6 Вт/м², з плитами на газоподібному або твердому паливі – 2,3 Вт/м². G - корисна площа житлових будинків мікрорайону (кварталу), м².

Якщо, крім підприємств торгівлі, громадського харчування, аптек в мікрорайоні передбачається побудувати кінотеатр і поліклініку, вираз може бути поданий у вигляді:

$$P_{p.m.p} = (p_{n.ж.б} + p_{n.зр.}) * G * 10^{-3} + K_1 p_{n.к.т} n_1 + K_2 p_{n.п} n_2, \quad (3.18)$$

де $p_{n.к.т}$ - питомі значення навантажень для кінотеатрів, кВт/місце; K_1 - коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та кінотеатра; n_1 - кількість місць в кінотеатрі; K_2 - коефіцієнт сумісництва максимумів навантаження житлового сектора та поліклінік; n_2 - кількість відвідувань за зміну в поліклініку; $p_{n.п}$ - питоме значення навантаження на одне відвідування в поліклініці, кВт/відв.

Приклад 1. Визначити орієнтовне навантаження мікрорайона на шинах 0,4 кВ ТП, в якому будуть побудовані житлові будинки висотою 12-16 поверхів з електроплитами. Загальна площа квартир житлових будинків $S=250$ (тис. м²). Крім підприємств торгівлі, громадського харчування, аптек та інших закладів мікрорайонного значення передбачається побудувати кінотеатр на 1200 глядачів та поліклініку на 750 відвідувань за зміну.

Розв'язання. $P_{p.m.p} = (p_{n.ж.б} + p_{n.зр.}) * G * 10^{-3} + K_1 p_{n.к.т} n_1 + K_2 p_{n.п} n_2 =$
 $(21,5 + 2,6) 250 * 10^{-3} * 10^{-3} + 0,9 * 0,12 * 1200 + 0,7 * 0,15 * 750 = 6234 \text{ кВт.}$

$p_{n.к.т} = 0,12$ кВт/місце, $p_{n.п} = 0,15$ кВт/відвід. - визначались за табл. 11 додатку.
 $K_1 = 0,9$, $K_2 = 0,7$ – за табл. 6 додатку.

Приклад 2. Визначити потужність мікрорайону, якщо відомо, що кількість квартир у мікрорайоні 940, 15 ліфтів потужністю 4 кВт, 7 ліфтів потужністю 7 кВт. Квартири оснащені газовими плитами. Навантаження підприємств громадського харчування (їдальні, кафе, ресторани) складає 150 кВт (tgφ=0.2), загальноосвітні школи – 200 кВт (tgφ=0.33), підприємства торгівлі – 350 (tgφ=0.65) кВт. Внутрішньоквартальне освітлення - $P_{p.к.о.} = 61,4 \text{ кВт.}$ Освітлення - $P_{p.вул.} = 60 \text{ кВт.}$

Розв'язання: Визначаємо навантаження однотипних житлових будинків по формулам 3.14 і 3.15:

$$P_{max} = 0,61 * 940 + 0,9 * 0,39 * (15 * 4 + 7 * 7) = 572 + 38,1 = 610 \text{ кВт.}$$

$$Q_{max} = 0,61 * 940 * 0,29 + 0,9 * 0,39 * (15 * 4 + 7 * 7) * 1,17 = 210,8 \text{ кВАр}$$

Реактивне навантаження громадських споживачів визначаємо по формулі 3.8. Розрахунок навантаження мікрорайону виконуємо виходячі з формул 3.11, 3.12 (табл.3.3).

Таблиця 3.3. – Розрахунок навантаження мікрорайону міста

Найменування споживачів	Розрахункове активне навантаження P_p , кВт	Розрах. Реактивне навантаження Q_p , кВАр	Коефіцієнт участі в максимумі $K_1 \dots K_n$	Розрахункове навантаження $P_p^* K_i$, кВт	$Q_p^* K_i$, кВАр
Житлові будинки	610,0	210,8	1,0	610	210,8
Підприємства громадського харчування	150,0	30,0	0,4	60	12,0
Загальноосвітні школи	200,0	66,0	0,4	80	26,4
Підприємства торгівлі	350,0	227,5	0,4	140	91,0
Зовнішнє освітлення	60,0	-	1	60	-
Разом				950	340,2

де K_i - коефіцієнт участі в максимумі для зовнішнього освітлення $K_{м.о.} = 1,0$

Визначаємо повну потужність мікрорайону:

$$S_{м.р.спож} = \sqrt{950^2 + 340,2^2} = 1009,1 \text{ кВАр}$$

Тепер необхідно в навантаженні мікрорайону врахувати втрати в трансформаторах і лініях.

$$\Delta P_{тр} = 0,02 S_{м.р.спож} = 1009,1 * 0,02 = 20,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 S_{м.р.спож} = 1009,1 * 0,1 = 100,9 \text{ кВАр}$$

$$\Delta P_{л} = 0,03 S_{м.р.спож} = 1009,1 * 0,03 = 30,3 \text{ кВт}$$

Визначаємо навантаження мікрорайону міста з врахуванням втрат в трансформаторах.

$$P_{р.м.} = P_{р.спож} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{л} = 950 + 20,2 + 30,3 = 1000,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{р.м.} = Q_{р.спож} + \Delta Q_{тр} = 340,2 + 100,9 = 441,1 \text{ кВАр}$$

$$S_{р.м.р.} = \sqrt{1000,5^2 + 441,1^2} = 1093,4 \text{ кВА}$$

4. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПІДСТАНЦІЙ В МІКРОРАЙОНІ

Кількість підстанцій, необхідну для живлення мікрорайону, визначаємо за виразом

$$n_{ТП} = \frac{P_{р.м.р.}}{\kappa_3 S_{н.тр} n_{тр} \cos \varphi}, \quad \text{або} \quad \frac{S_{р.м.р.}}{\kappa_3 S_{н.тр} n_{тр}} \quad (4.1)$$

де κ_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі;

$S_{н.тр}$ – прийнята потужність трансформаторів ТП; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності;

$n_{тр}$ – кількість трансформаторів на ТП.

Рекомендації:

Вибір потужності ТП відноситься до техніко-економічних задач. Підвищення потужності ТП приводить до зменшення їхнього числа і відповідно вартості, але при цьому ускладнюється розподільна мережа низької напруги, і, навпаки, зниження потужності ТП приводить до збільшення їхнього числа і вартості, але розподільна мережа низької напруги виявляється легше і відповідно дешевше. Таким чином, повинна існувати оптимальна потужність ТП, що відповідає мінімумові річних при-

ведених витрат. Річні приведені витрати, що залежать від потужності ТП, повинні включати вартість розподільних мереж середньої і низької напруги і вартість втрат електроенергії в них, вартість ТП і втрат електроенергії у трансформаторах.

Але на попередніх етапах розрахунку не всі вихідні дані ще відомі. Тому з огляду на досвід проектування та обмеження через різні технічні обмеження, потужність трансформаторів для міських ТП обмежується, як правило, величинами 400 і 630 кВА. А з огляду на те, що висота забудови в даний час збільшується і складає не менше 12 поверхів, що збільшує поверхневу щільність навантаження, цілком обгрунтовано на перших етапах розрахунків приймати трансформаторні підстанції 2*630 кВА з коефіцієнтом завантаження в нормальному режимі одного трансформатора, рівному 0,7.

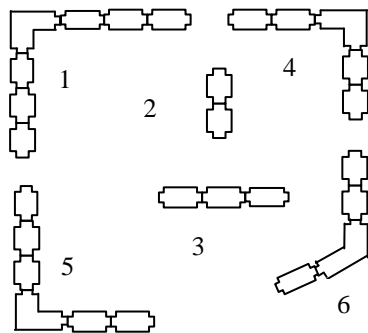
Приклад. Визначити кількість підстанцій в мікрорайоні, якщо його потужність $S_{м.р.} = 2259,9 \text{ кВА}$.

Розв'язання. З огляду на поверховість, щільність забудови мікрорайону і категорію електричних приймачів, вибираємо потужність трансформаторів 630 кВт і кількість трансформаторів у ТП –2 (формула 4.1).
$$n_{ТП} = \frac{2259,9}{0,7 * 630 * 2} = 2,6 \approx 3 \text{ шт.}$$

5. РОЗПОДІЛ НАВАНТАЖЕННЯ МІКРОРАЙОНУ ПО ПІДСТАНЦІЯХ

Розподіл навантаження по підстанціях здійснюємо з урахуванням вищевикладеного в попередніх розділах (розрахунок навантаження здійснюємо по методиці розрахунку навантаження мікрорайону).

Приклад. Розподілити навантаження фрагмента мікрорайону:



Вихідні дані:

Номер на плані	Найменування	Кількість під'їздів	Кількість поверхів	Кількість квартир
1	Житловий будинок	7	9	252
5	Житловий будинок	6	9	216
6	Житловий будинок	4	9	144
2	Житловий будинок	2	9	72
3	Житловий будинок	3	9	108
4	Житловий будинок	5	9	180

Внутрішньоквартальне освітлення – 10 кВт, вуличне освітлення – 25 кВт.
Будинки оснащені плитами на природному газі.

Розв’язання. Припустимо, що всі будинки живляться від однієї підстанції потужністю $2 \cdot 630$ кВА. Оскільки в цій частині мікрорайону знаходяться тільки житлові будинки, розрахункове навантаження цієї частини мікрорайону, що приходить на трансформаторну підстанцію за аналогією з виразом (3.14) з урахуванням ліфтових установок:

$$P_{ж.б.ТП} = 0,604 \cdot 972 + 0,9 \cdot 0,35 \cdot 27 \cdot 7 = 646,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{ж.б.ТП} = 0,604 \cdot 972 \cdot 0,29 + 0,9 \cdot 0,35 \cdot 27 \cdot 7 \cdot 1,17 = 239,9 \text{ кВАр}$$

де $0,604$ - питома навантаження, при кількості квартир в мікрорайоні 972 (знаходимо за табл.1 додатку); $0,35$ – коефіцієнт попиту ліфтових установок при їх кількості 27 ; $0,29$ – $\text{tg}\varphi_{\text{кв}}$; $1,17$ – $\text{tg}\varphi_{\text{л}}$

При визначенні кількості ліфтових установок треба користуватися рекомендаціями, які приведені в таблиці 8 додатку.

Визначаємо повну активну потужність ТП, віднесену до шин $0,4$ кВ з урахуванням внутрішньоквартального й вуличного освітлення:

$$P_{ТП} = 646,6 + 10 + 25 = 681,6 \text{ кВт}.$$

Знаходимо повну потужність підстанції: $S_{ТП} = \sqrt{681,6^2 + 239,9^2} = 722,6 \text{ кВА}.$

Коефіцієнт завантаження в нормальному режимі: $\kappa_{\text{зн}} = \frac{S_{ТП}}{n_{ТП} S_{\text{тр}}} = \frac{722,6}{2 \cdot 630} = 0,57.$

Коефіцієнт завантаження в післяаварійному режимі: $\kappa_{\text{за}} = \frac{S_{ТП}}{S_{\text{тр}}} = \frac{722,6}{630} = 1,151,2.$

Оптимальні коефіцієнти завантаження $\kappa_{\text{зн}} = 0,6 - 0,8$; $\kappa_{\text{за}} = 1,2 - 1,6$.

Аналогічно можна розподіляти навантаження серед інших ТП. При цьому треба звернути увагу, що при додаванні навантажень різних груп споживачів треба враховувати коефіцієнти участі в максимумі (табл. 6 додаток).

Всі розрахунки зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок навантаження трансформаторних підстанцій

Номер ТП	Найменування споживачів і номера на ген. пані	P_p кВт	Q_p кВАр	$K_{\text{уч}}$ в максимумі	P_p^* $K_{\text{уч}}$ кВт	Q_p^* $K_{\text{уч}}$ кВАр	$S_{\text{р.тп}}$ кВАр	Тип трансформатора	Коеф.тр-ра	
									$\kappa_{\text{зн}}$	$\kappa_{\text{за}}$
1	Ж.б. з газ. кух. пл. (1,5,6,2,3,4)	646,6	239,9	1	646,6	239,9		Тм 630-10/0,4		
	Зовн. Осв.	35	-	1	35	-				
разом					681,6	239,9	722,6		0,57	1,15

6. РОЗМІЩЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ НА ПЛАНІ МІКРОРАЙОНУ ТА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

Картограму будуємо за умовою, що площі кіл картограми (F_i) в обраному масштабі (m) є розрахунковими, повними навантаженнями житлових будинків і комунально-громадських навантажень (S_{pi}). Тоді радіуси кожного кола визначаємо за виразом:

$$r = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi * m}}. \quad (6.1)$$

Іноді виникає необхідність на площі кола виділити силове навантаження, або освітлювальне. В цьому разі необхідно розрахувати величину сектора кола по формулі:

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{S_{осв.і.} * 360}{S_{pi}}}. \quad (6.2)$$

Для визначення місця розташування трансформаторної підстанції визначаємо центр електричних навантажень. Побудову картограми виконуємо на підставі результатів визначення розрахункових навантажень житлових будинків, наведених в табл. 3.1.

Центр навантажень приймаємо співпадаючим з центром ваги будинку. Це допущення обумовлене тим, що невідомий розподіл приймачів електроенергії по площині будинку. Для визначення місця розташування трансформаторної підстанції знаходимо центр електричних навантажень підстанції за допомогою аналітичного методу додавання паралельних навантажень, що базується на теорії проєкцій. На генплан мікрорайону довільно наносимо осі координат і координати центру електричних навантажень знаходимо за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum S_{pi} X_i}{\sum S_{pi}}; \quad (6.3)$$

$$Y_0 = \frac{\sum S_{pi} Y_i}{\sum S_{pi}}, \quad (6.4)$$

де X_0, Y_0 – координати центру навантажень; X_i, Y_i – координати центру навантажень i -го будинку; S_{pi} – розрахункове, повне навантаження будинку.

Приклад 1. Визначити центр електричних навантажень підстанції для фрагмента плану мікрорайону:

Розрахункове навантаження житлових будинків складає: 1 – 120 кВА; 2 – 63 кВА; 3 – 85 кВА; 4 – 105 кВА; 5 – 110 кВА; 6 – 75 кВА.

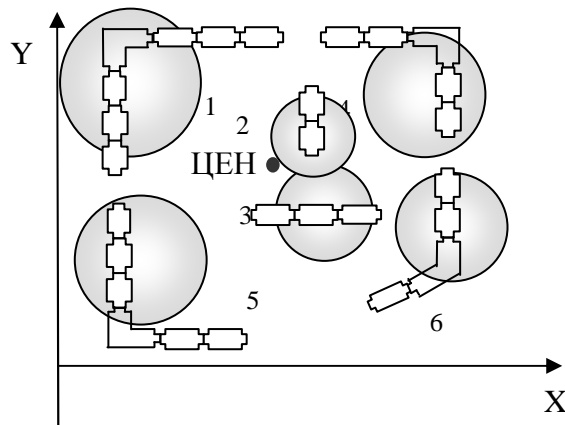


Рис. 6.1 – План фрагмента мікрорайону

Розв'язання. Відповідно до плану фрагмента мікрорайону й електричних навантажень за формулами (6.2) і (6.3) знаходимо центр електричних навантажень:

$$X_0 = \frac{120 * 20 + 63 * 35 + 85 * 35 + 105 * 43 + 110 * 18 + 75 * 45}{558} = 31,3 \text{ мм};$$

$$Y_0 = \frac{120 * 38 + 63 * 35 + 85 * 23 + 105 * 39 + 110 * 15 + 75 * 20}{558} = 28,6 \text{ мм}.$$

Всі значення зводимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахункові дані для визначення центру електричних навантажень підстанції

№ за планом	S_{pi} , кВА	X_i , мм	Y_i , мм	$S_{pi} * X_i$, кВА*мм	$S_{pi} * Y_i$, кВА*мм
1	2	3	4	5	6
1	120	20	38	2400	4560
2	63	35	35	2205	2205
1	2	3	4	5	6
3	85	35	23	2975	1955
4	105	43	39	4515	4095
5	110	18	15	1980	1650
6	75	45	20	3375	1500
Всього	558			17450	15965

При визначенні центру електричних навантажень підстанцій на місцевості слід враховувати масштаб зображеного мікрорайону на плані.

Приклад 2. Побудувати картограму навантажень для житлового будинку, коли відомо, що повне навантаження житлового будинку $S_{з.жс}=250$ кВм, а силове навантаження складає $S_{сил}=45$ кВА.

За виразом (6.1) будуємо картограму навантажень для житлового будинку попередньо прийнявши масштаб $m=0,2$ кВА/мм².

$$r = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi * m}} = \sqrt{\frac{250}{3,14 * 0,2}} = 19,9 \text{ мм}.$$

Сектор кола, що показує величину силового навантаження у загальному навантаженні житлового будинку, визначаємо так: $\alpha = \frac{S_{сил} * 360}{S_{pi}} = \frac{45 * 360}{250} \approx 64 \text{ град}.$

Значення для кожного будинку зводимо в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахункові дані для побудови картограми навантажень

№ будинку за планом	S_{pi} , кВА	$S_{сил}$, кВА	R , мм	α , град.
1	2	3	4	5
1	250	45	19,9	64
...

Центр електричних навантажень і картограму зображуємо на плані, при цьому силове навантаження виділяємо у вигляді сектора, як показано на рис. 6.2.

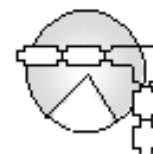


Рис. 6.2 – Зображення картограми навантажень житлового будинку

7. ВИБІР СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА

Трансформаторні підстанції за планом мікрорайону розподіляємо відповідно до раніше проведених розрахунків, як це показано на рис.7.1.

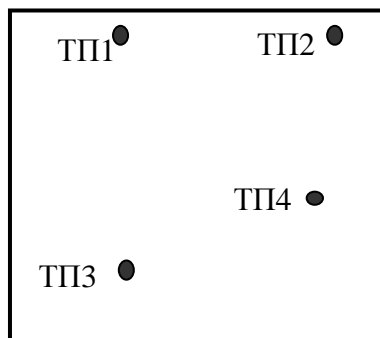


Рис. 7.1 – План мікрорайону і розподіл трансформаторних підстанцій

Нехай район міста складається з однакових мікрорайонів. Якщо в завданні визначена кількість мікрорайонів – 4, тоді план району міста матиме вигляд:

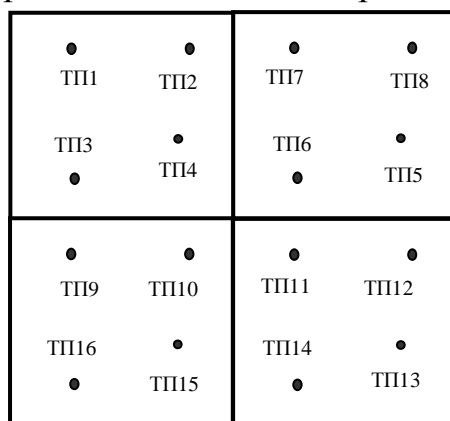


Рис.7.2 – План району міста і розташування трансформаторних підстанцій

7.1 Вибір і розрахунок живильної мережі напругою 10 кВ

При виборі схеми електропостачання необхідно враховувати наявність джерел живлення в місті, їх кількість, віддаленість від споживачів, доцільність додаткових розподільних пунктів. Доцільність спорудження РП і живильних ліній повинна бути обгрунтована в кожному випадку техніко-економічними розрахунками. Розподільні пункти і живильні лінії споруджувати доцільно з економічної точки зору при щільності електричного навантаження не менше за 5 мВт/км^2 і при відстані живильного району від джерела більше 3-4 км. Навантаження на шини РП 10 кВ має бути не менше 7 мВт. Розподільні пункти слід розміщувати в районі міста таким чином, щоб напрямки потоків енергії в живильній і розподільних мережах 10 кВ, по можливості, співпадав. При цьому зменшуються втрати енергії та скорочується витрати кабеля. Економічно доцільно розташовувати РП 10 кВ потужністю 14-20 мВА на території живлючого ним району між найближчою до джерела живлення межею і центром навантаження, заглиблюючись в район обслуговування на 10-15% від його відстані. Менші за потужністю РП треба розташовувати поблизу межі живлючого району. Розподільний пункт і найближчі до нього ТП доцільно суміщати.

Визначаємо повну потужність, яку споживає район міста:

$$P_{p.m} = n \sum P_{m.p.}, \quad (7.1)$$

де n – кількість мікрорайонів у районі міста.

Загальну кількість РП в районі міста знаходимо з урахуванням оптимальної потужності РП:

$$n_{RP} = \frac{P_{p.m.}}{P_{RP.on}}, \quad (7.2)$$

де $P_{RP.on}$ – оптимальна потужність РП, що рекомендується при поверхневій щільності навантаження 3 мВт/км² – 8 мВт; при 5 мВт/км² – 11 мВт; при 8 мВт/км² – 14 мВт; при 10 мВт/км² – 16 мВт; при 15 мВт/км² – 18 мВт.

Для визначення поверхневої щільності навантаження треба знати площину F_m району міста, що охоплена мережою середньої напруги та повне навантаження $P_{p.m}$:

$$\sigma = \frac{P_{p.m.}}{F_m}. \quad (7.3)$$

Приклад. Вибрати живильну мережу 10 кВ для електропостачання району міста, коли відомо, що район міста складається з 6 мікрорайонів, є одне джерело живлення, розташоване у західній частині району та віддалений від його межі на відстань 6 км. Потужність району міста складає $P_{p.m}=21600$ кВА, а його площа 4 км².

Розв'язання.

Поверхнева щільність навантаження становить:

$$\sigma = \frac{P_{p.m.}}{F_m} = \frac{21600}{4} = 5,4 \text{ мВт} / \text{км}^2.$$

Оптимальна потужність РП для цієї поверхневої щільності навантаження складає 11 мВт, тоді кількість РП для цього району дорівнює 2 ($21,6/11 \approx 2$), виходячи із загальної кількості, потужність перерозподілиться між РП по $21600/2=10800$ кВт. Оскільки потужність РП невелика, розташовуємо їх на межі району міста з однаковою віддаленістю від джерела живлення (рис.7.3).

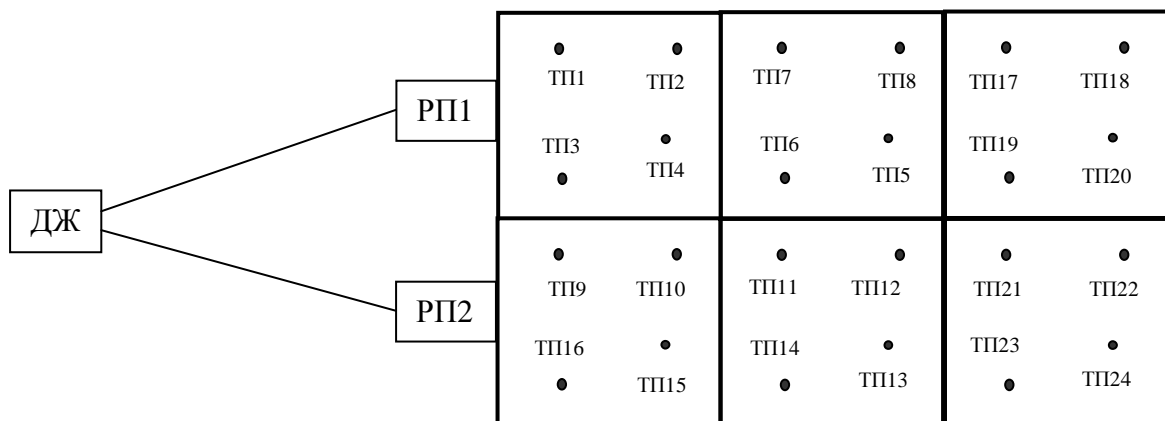


Рис.7.3 – Побудова живильної лінії 10 кВ

Живильні лінії виконуємо декількома паралельно працюючими кабелями із загальним вимикачем на кожній лінії. Принципова схема з урахуванням побудови та резервування секцій розподільних пунктів подана на рис.7.4.

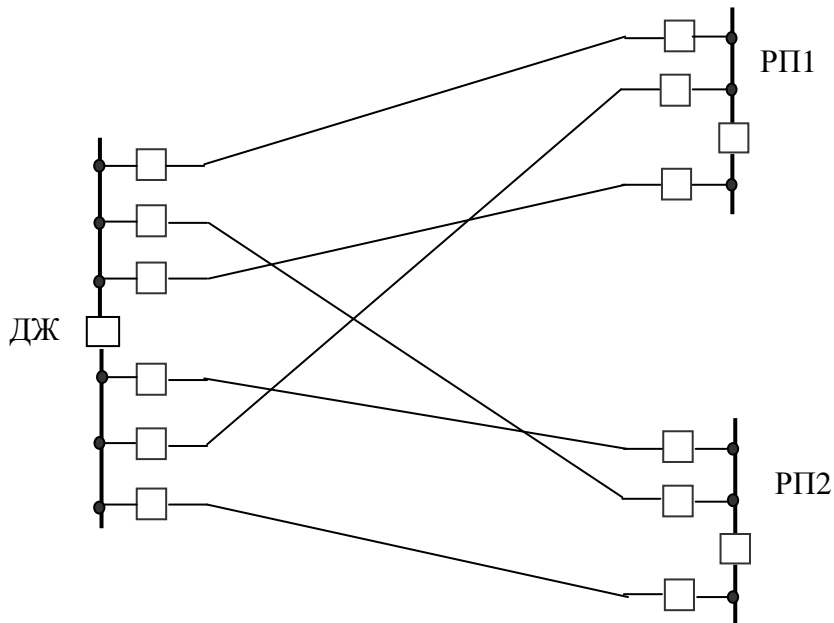


Рис. 7.4 – Принципова схема живильних ліній

Для розрахунку такої схеми необхідно знати навантаження на РП. Оскільки це навантаження задане в умові прикладу, то ми його й приймаємо. Якщо треба знайти шляхом додавання навантажень підстанцій, що підключені до РП, то воно визначається так:

$$S_{РП} = K_{см} \sum S_{ТП}, \quad (7.4)$$

де $K_{см}$ – коефіцієнт суміщення максимуму навантаження ТП, що живляться від даного РП (додаток, табл. 9).

Визначаємо повну потужність навантаження РП: $S_{РП} = \frac{10800}{0,9} = 12000 \text{ кВА}$.

$$\text{Знаходимо струм лінії: } I_{л} = \frac{S_{РП}}{\sqrt{3} U_n n_{л}} = \frac{12000}{1,73 * 10 * 3} = 231 \text{ А},$$

де $n_{л}$ – кількість ліній, що живлять РП.

$$\text{Визначаємо переріз лінії: } F_{л} = \frac{I_{л}}{J_{ек}} = \frac{231}{1,4} = 165 \text{ мм}^2,$$

де $J_{ек}$ – економічна щільність струму (додаток, табл. 10) .

Задаємося кількістю кабелів у лінії – 2, тоді переріз кабелю визначається так:

$$F_{каб} = F_{л} / 2 = 165 / 2 = 82,5 \text{ мм}^2.$$

За ДГСТ приймаємо кабель перерізом 95 мм². Допустимий струм кабелю $I_{нрпн}=205 \text{ А}$ (табл. 12, додаток).

Перевіряємо кабель за припустимим струмом на нагрівання:

$$I_p \leq \kappa_n I_{нрпн}, \quad (7.5)$$

де I_p – робочий струм кабелю; κ_n – коефіцієнт, що враховує умови прокладання (табл.13 додатку); $I_{нрпн}$ – припустимий струм кабелю.

В одній лінії 2 кабелю, тому $\kappa_n=0,93$

$$I_p^n = \frac{S_{PP}}{\sqrt{3}U_n n_{\lambda}} = \frac{12000}{1,73 * 10 * 3 * 2} = 115,5 A.$$

$$115,5 \leq 0,93 * 205 ; \quad 115,5 \leq 190 .$$

Перевіряємо роботу кабеля в після аварійному режимі. Допускаємо, що найбільш важким аварійним режимом для даної схеми є пошкодження однієї лінії, тоді живлення РП здійснюється по двох лініях і аварійний струм в цьому випадку визначається так: $I_p^{ПА} = \frac{S_{PP}}{\sqrt{3}U_n n_{\lambda}} = \frac{12000}{1,73 * 10 * 2 * 2} = 173,4 A.$

В умовах після аварійної роботи повинна дотримуватись умова:

$$I_p^{ПА} \leq \kappa_{пер} \kappa_n I_{прин} , \quad (7.6)$$

де $\kappa_{пер}$ – коефіцієнт перевантаження, що враховує збільшення припустимого струму кабеля в післяаварійному режимі (табл.14 додатку).

У нормальному режимі кабель завантажений на 70% ($115,5/166 * 100 = 70$). Тому в післяаварійному режимі вираз (7.6) має вигляд:

$$173,4 \leq 1,15 * 0,93 * 205 ; \quad 173,4 \leq 219,2 .$$

Умова дотримується, тобто переріз кабеля приймаємо рівним 95 мм².

7.2 Вибір розподільчої мережі напругою 0,4 і 10 кВ

Схема електропостачання району міста розробляється з урахуванням розміщення джерел живлення та споживачів, величини їхньої напруги та потужностей, необхідної надійності, розташування та конструктивного виконання ліній, РП і міських ТП.

Згідно з ПУЕ електроприймачі діляться на три категорії.

До першої категорії належать електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей і порушення функціонування особливо важливих елементів міського господарства. До їх складу входять: електроприймачі висотних (більше 16 поверхів) будівель, в тому числі ліфти, пожежні насоси, аварійне освітлення, вузли радіозв'язку, телефонні й телеграфні станції, протипожежні установки, водопровід, каналізація, електрифікований транспорт, споруди та об'єкти з масовим скупченням людей, що діють при штучному освітленні (театри, кіно, клуби, великі стадіони, універмаги і т.ін.), особливі операційні палати, лікарні, пологові будинки, пункти невідкладної медичної допомоги, музеї та виставки міського значення, міські ЦП (РП) із загальним навантаженням більше 10000 кВА та ін.

До другої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких призводить до порушення нормальної діяльності значної кількості міських жителів. До їх складу входять: житлові будинки з електроплитами, житлові будинки висотою 6 поверхів і більше з газовими плитами, гуртожитки на 50 осіб і більше, будівлі закладів з кількістю працюючих від 50 до 2000 осіб, дитячі й медичні заклади, аптеки, криті видовищні та спортивні споруди з кількістю місць у залі від 300 до 800, відкриті спортивні споруди зі штучним освітленням при наявності 20 рядів і більше, підприємства громадського харчування з кількістю посадкових місць

від 100 до 500, магазини з торговельною площею від 250 до 2000 м², комбінати побутового обслуговування, ательє з кількістю робочих місць більше 50, салони-перукарні з кількістю робочих місць 10 і більше, хімчистки, пральні, навчальні заклади з кількістю учнів від 200 до 1000 чоловік, музеї та виставки місцевого значення, готелі з кількістю місць від 200 до 1000, бібліотеки, міські ЦП (РП) і ТП із загальним навантаженням від 400 до 10000 кВА.

До третьої категорії відносяться всі інші електроприймачі, що не підходять під визначення першої і другої категорій.

Електроприймачі першої категорії повинні забезпечуватися електроенергією від двох незалежних джерел живлення, перерва в їх електропостачанні може бути допущена тільки на час автоматичного вводу резервного живлення. Незалежними джерелами живлення є дві секції або системи шин однієї чи двох електростанцій і підстанцій. Як друге незалежне джерело живлення можуть використовуватись автономні джерела живлення (аккумуляторні батареї, дизельні електростанції та ін.) і резервні зв'язки по мережі напругою 0,4 кВ від найближчої ТП, що живляться по мережі 10 кВ від іншого незалежного джерела.

Електроприймачі другої категорії рекомендується забезпечувати електроенергією від двох незалежних джерел живлення. Для таких електроприймачів допустимі перерви в електропостачанні на час, необхідний для включення резервного живлення діями чергового персоналу або виїзної оперативної бригади.

Живлення електроприймачів другої категорії, як правило, слід передбачати від однострансформаторних ТП за умови організації централізованого резерву трансформаторів і забезпеченні можливості заміни пошкодженого трансформатора за час не більше однієї доби. Для цих електроприймачів допускається резервування у післяаварійному режимі шляхом улаштування тимчасових зв'язків напругою 0,4 кВ.

Електроприймачі третьої категорії можуть житися від одного джерела живлення. Допустимі перерви в електропостачанні на час, необхідний для подачі тимчасового живлення, ремонту чи заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але не більше ніж на одну добу.

Для електропостачання споживачів третьої категорії в селищах міського типу при повітряному виконанні 0,4 і 10 кВ застосовується радіально-магістральна розподільна мережа 0,4 і 10 кВ без резервування ліній і трансформаторів. Така мережа характеризується найменшими капіталовкладеннями на здійснення електропостачання споживачів через відсутність резервування елементів мережі та вибір параметрів всіх елементів тільки за умовами нормального режиму роботи (рис.7.5).

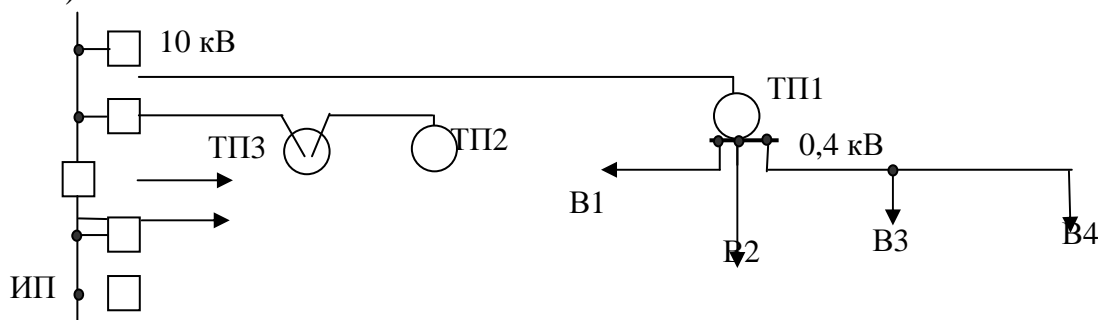


Рис. 7.5 – Радіально-магістральна розподільна мережа 0,4 і 10 кВ

Основний принцип побудови розподільної мережі для електроприймачів третьої категорії – це поєднання петльових резервованих ліній напругою 10 кВ з метою двобічного живлення кожної ТП і радіальних нерезервованих ліній 0,4 кВ до споживачів. При живленні мережі напругою 10 кВ повітряними лініями їх резервування може не передбачатися.

Головним принципом побудови розподільної мережі для електроприймачів другої категорії є поєднання петльових ліній 10 кВ, що забезпечують двобічне живлення кожної ТП, і петльових ліній напругою 0,4 кВ для живлення споживачів. Петльові лінії напругою 0,4 кВ можуть приєднуватися до однієї або різних ТП. Допускається використання автоматизованих схем (двопроменевих наприклад) для живлення електроприймачів другої категорії, якщо їх застосування призводить до збільшення приведених витрат на спорудження мережі не більше ніж на 5%.

Петльова неавтоматизована розподільна мережа 0,4 і 10 кВ (рис. 7.6) застосовується для приймачів другої категорії. Живлення петлі здійснюється як від різних джерел живлення (ДЖ1, ДЖ2; ТП6, ТП12), так і від одного (ДЖ1; ТП4). У нормальному режимі петльові лінії 10 кВ роз'єднуються на одній з ТП (ТП10 або ТП11). Для кабельних ліній 0,4 кВ економічно доцільна робота при замкнених петльових схемах з встановленням розділяючого, плавкого запобіжника в лінії з найменшим потоком потужності. У процесі експлуатації в ряді випадків у нормальних режимах петльові лінії 0,4 кВ роз'єднуються аналогічно лініям 10 кВ.

Петльові мережі рекомендуються як основні для електропостачання споживачів другої і третьої категорій житлових районів міста. За технічними і техніко-економічними показниками цей тип петльових розподільних мереж застосовується при житловій забудові будинків до 9-12 поверхів. Якщо є в наявності ТП, що живлять споживачів першої категорії, то в петльових мережах може застосовуватися вибіркове резервування електропостачання, із використанням автоматизації ввімкнення резерву. Петльові неавтоматизовані розподільні мережі при встановленні лінійних вимикачів навантаження з автоматизованим управлінням називаються петльовими автоматизованими мережами 10 кВ. У ТП встановлюється додатково комплект автоматики, що забезпечує вибіркове вимкнення пошкоджених ліній.

Головним принципом побудови розподільної мережі для електроприймачів першої категорії є двопроменева схема з двобічним живленням з АВР на напрузі 0,4 кВ при двотрансформаторних ТП, якщо підключені взаєморезервовані лінії 10 кВ до різних незалежних джерел живлення і пристрій АВР безпосередньо на вводі 0,4 кВ електроприймачів.

Приклад схеми для живлення електроприймачів першої категорії показаний на рис. 7.7. У цій схемі для надійності електропостачання магістралі 10 кВ переважно живляться від різних джерел.

Областю застосування магістральних автоматизованих мереж є райони, в яких за техніко-економічними показниками доцільно застосування двотрансформаторних ТП. До таких районів орієнтовно відносяться житлові райони із забудовою спорудами в 12-15 поверхів і вище та із значною частиною електроприймачів першої категорії.

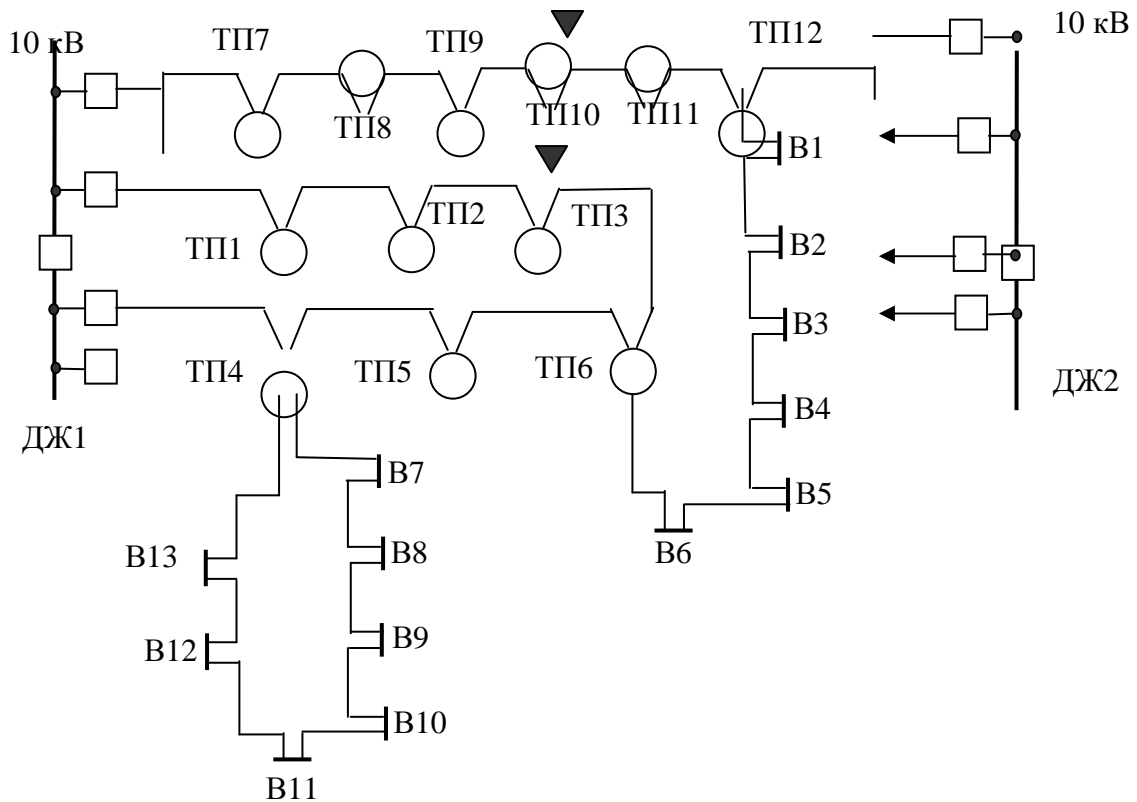


Рис. 7.6 – Петльова неавтоматизована розподільна мережа 0,4 і 10 кВ

При живленні одночасно приймачів першої, другої і третьої категорії часто використовують комбіновані двопроменово-петльові схеми розподільної мережі 10 кВ (рис. 7.8).

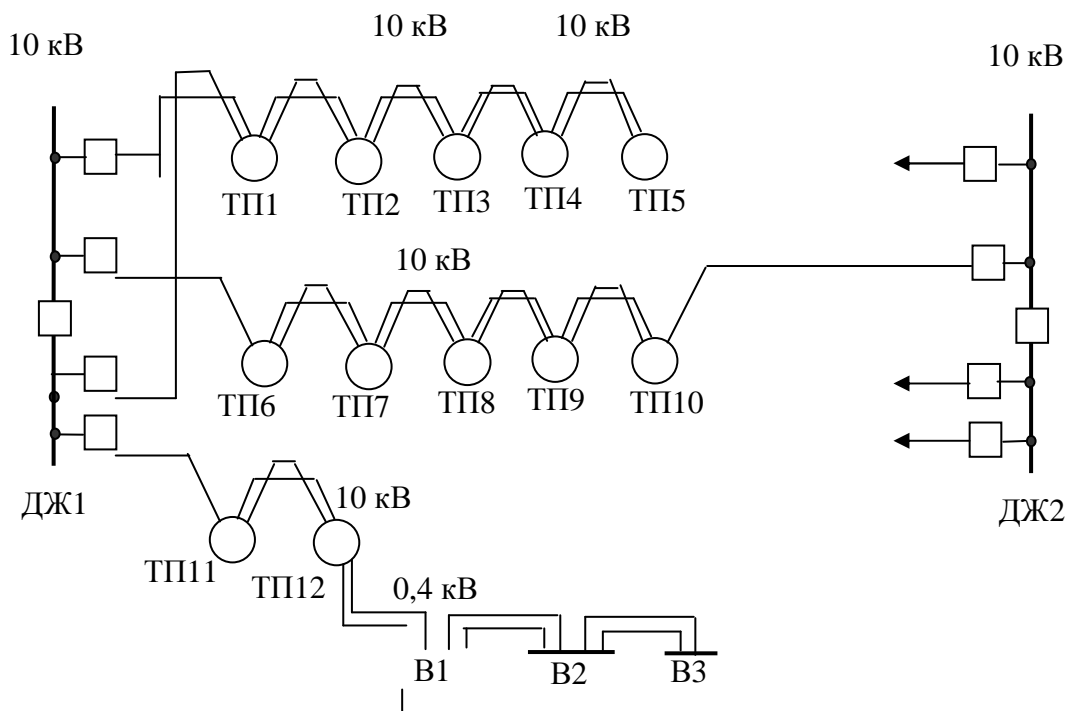


Рис. 7.7 – Радіально-магістральна автоматизована мережа 0,4 і 10 Кв

При застосуванні схеми живлення, що на рис. 7.5, як правило, використовують однострансформаторні схеми ТП (рис. 7.9). При використанні магістральних розподільних мереж 10 кВ і однострансформаторних ТП схема підстанції має вигляд на рис. 7.10.

Для більш відповідальних споживачів застосовують двотрансформаторні ТП з автоматизованим резервуванням з боку 10 кВ і з АВР з боку 0,4 кВ, виконані із застосуванням контакторів або автоматичних вимикачів (рис. 7.11).

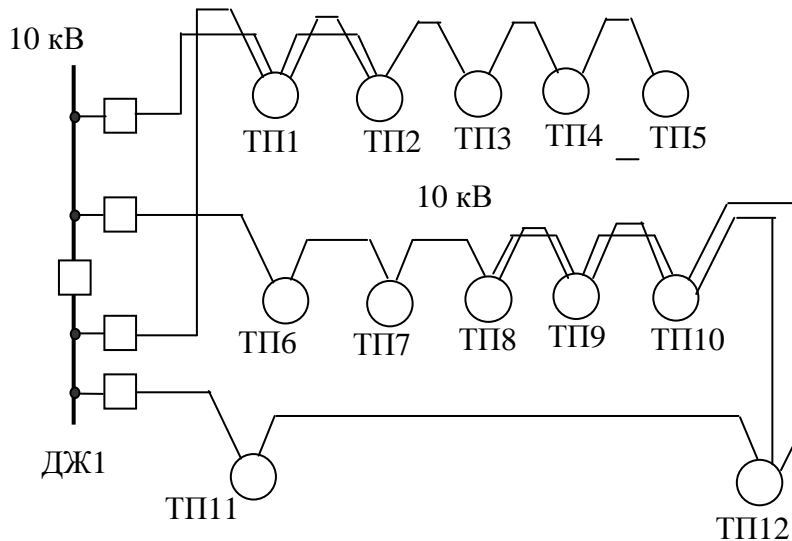


Рис. 7.8 – Комбінована двопроменево-петльова схема розподільної мережі напругою 10 кВ

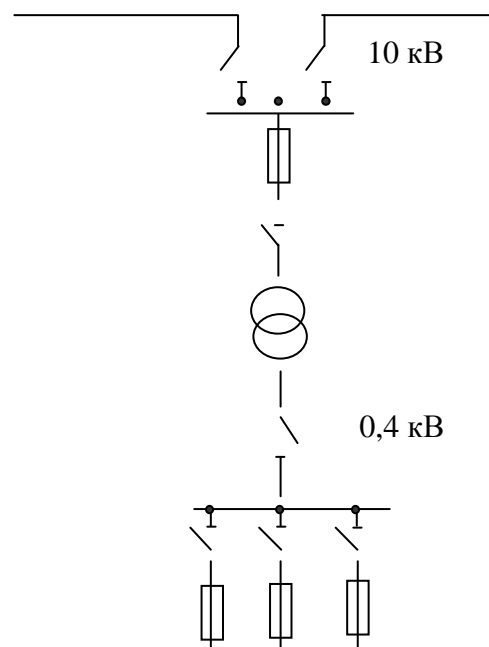


Рис.7.9 — Схема однострансформаторної підстанції без автоматизованого резервування з боку 10 кВ

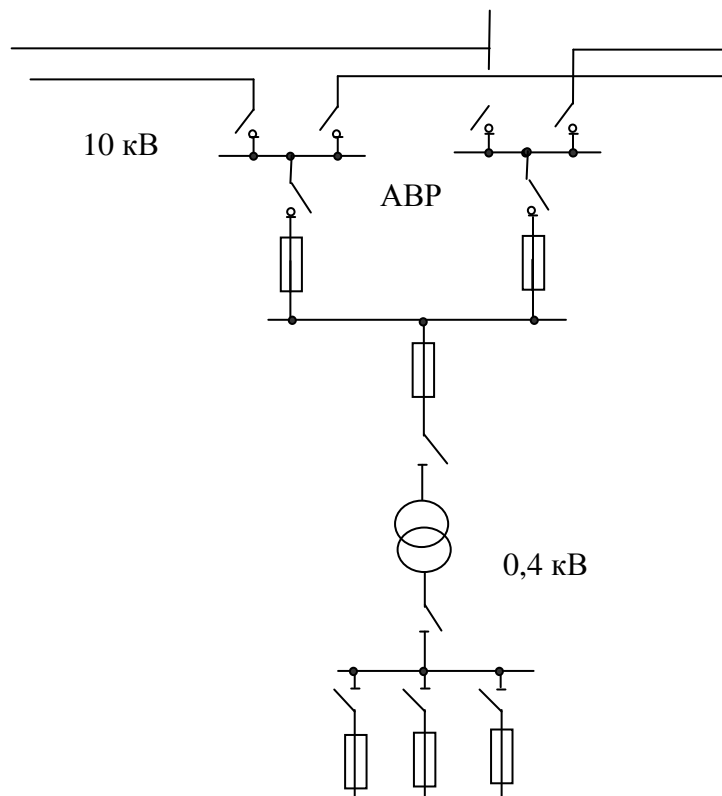


Рис. 7.10 – Схема одотрансформаторної ТП з АВР з боку 10 кВ із застосуванням вимикачів навантаження

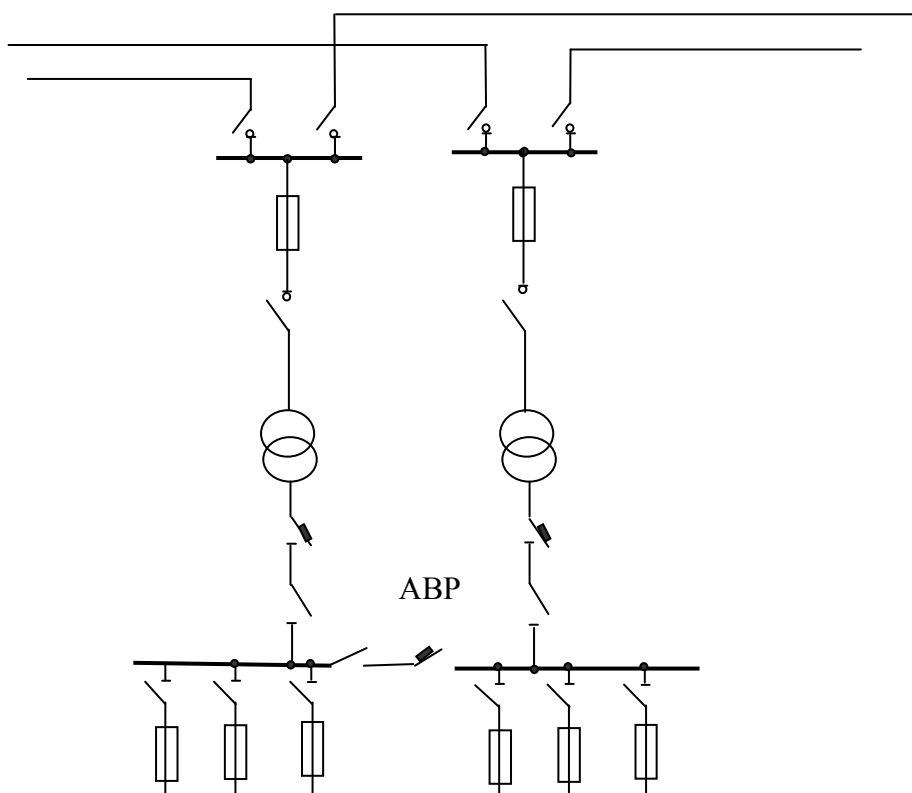


Рис. 7.11 – Схема двотрансформаторної ТП з автоматизованим резервуванням з боку 10 кВ і з АВР з боку 0,4 кВ із застосуванням автоматичних вимикачів

Рекомендації:

Для вибору схем електропостачання окремих споживачів на напрузі 0,4 кВ і 10 кВ доцільно виділяти райони міста, що характеризуються наявністю:

- а) в основному тільки електроприймачів другої і третьої категорії;
- б) більшої кількості споживачів, які мають електроприймачі першої категорії.

Для таких груп і здійснюється побудова розподільних мереж 0,4 і 10 кВ відповідно зі схемами, наведеними в цьому розділі.

У випадку, якщо економічно недоцільно здійснювати розподіл на ці групи, здійснюють електропостачання від однієї мережі, при цьому повинні виконуватися вимоги до електропостачання електроприймачів першої категорії.

Для електропостачання районів міста із споживачами, що мають в основному електроприймачі тільки другої і третьої категорій, на напрузі 10 кВ треба застосовувати петльову схему з одностансформаторними ТП.

Для електропостачання районів міста з великою кількістю споживачів, які мають електроприймачі першої категорії, на напрузі 10 кВ рекомендується двопротенева схема з двобічним живленням з двотрансформаторними ТП.

Застосування трипротеневої (багатопротеневої) схеми рекомендується при реконструкції або будівництві нових міських електричних мереж, коли вона може виявитися більш економічною, ніж двопротенева з двобічним живленням.

Для електропостачання районів міста з окремими ділянками, що мають велику кількість споживачів з електроприймачами першої категорії, на напрузі 10 кВ слід використовувати комбіновану петльово-двопротеневу схему з виконанням двопротеневої схеми з двотрансформаторними ТП на ділянках з великою кількістю споживачів, які мають електроприймачі першої категорії.

У випадку застосування на напрузі 10 кВ петльової схеми з одностансформаторними ТП для електропостачання споживачів, які мають електроприймачі другої і третьої категорії, мережу напругою 0,4 кВ виконують за петльовою схемою, якщо не потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження, і за двопротеневою схемою з одnobічним живленням, якщо потрібне роздільне живлення силового та освітлювального навантаження будинків.

Приєднання ліній петльової або двопротеневої схеми мережі 0,4 кВ до різних ТП треба виконувати для живлення житлових і громадських будівель з електричними плитами, будинків висотою 9 поверхів і вище. В інших випадках приєднання ліній до різних ТП рекомендується за умови, якщо це не призводить до погіршення економічних показників мережі більше ніж на 5%.

При петльовій схемі з одностансформаторними ТП для електропостачання окремих споживачів, які мають електроприймачі першої категорії на напрузі 0,4 кВ, рекомендується застосування однієї з наступних схем:

- а) петльової або двопротеневої схеми з двобічним живленням від різних одностансформаторних ТП, підключених до різних напівпетель однієї лінії 10 кВ або до різних магістралей 10 кВ, з АВР безпосередньо в електроприймачів першої категорії;
- б) петльової або двопротеневої схеми з одnobічним живленням від різних секцій однієї з ТП, на якій встановлюються два трансформатори і здійснюється ділення кабельної лінії на напівпетлі з АВР у споживачів.

Вибір тієї чи іншої схеми виконують з урахуванням їх економічності, потужності електроприймачів першої категорії та можливості практичного виконання.

При двопробієвій схемі на напрузі 10 кВ з двотрансформаторними ТП мережу 0,4 кВ виконують за двопробієвою схемою з однопічним живленням від різних секцій однієї ТП.

7.3 Розрахунок розподільної електричної мережі 10 кВ

Вибір перерізів дротів і кабелів напругою вище 1 кВ виконують:

- за економічною щільністю струму в нормальному режимі;
- за припустимим тривалим струмовим навантаженням за нагріванням в нормальному і післяаварійному режимах;
- припустимій втраті напруги в нормальному і післяаварійному режимах;
- термічній стійкості при струмах короткого замикання, якщо кабельні лінії не захищені плавкими запобіжниками.

Економічний переріз жил кабелів розподільних ліній 10 кВ розраховують для кожної ділянки за вже знайомою формулою:

$$F_{к-м} = \frac{I_{р.к-м}}{J_{ек}}, \quad (7.7)$$

де $F_{к-м}$ - переріз ділянки розподільної мережі 10 кВ, мм²; $I_{р.к-м}$ - розрахунковий струм ділянки розподільної мережі 10 кВ, А; $J_{ек}$ - нормоване значення економічної щільності струму, А/мм², вибране за табл.10 (додаток).

Переріз ділянок, отриманий в результаті розрахунку, необхідно округляти до найближчого стандартного. При цьому для сусідніх ділянок допускається приймати однакові перерізи жил, що відповідають економічному для найбільш довгої ділянки, якщо різниця між значеннями економічного перерізу для цих ділянок знаходиться в межах одного ступеня за шкалою стандартних перерізів.

Розрахунок жил кабелів розподільної мережі 10 кВ за припустимим тривалим струмовим навантаженням по нагріванню в нормальному режимі здійснюють за виразом

$$I_{р.к-м.норм.} / (K_{к} K_{т} K_{с} K_{пн}) \leq I_{прип.к-м}, \quad (7.8)$$

де $I_{р.к-м.норм.}$ - розрахунковий струм в нормальному режимі на ділянці, А; $I_{прип.к-м}$ - припустиме тривале струмове навантаження жил кабеля ділянки, А; $K_{к}$ - поправний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд в землі (табл.13 додатку); $K_{т}$ - поправний коефіцієнт на температуру землі (табл. 15 додатку); $K_{с}$ - поправний коефіцієнт на питомий тепловий опір землі (табл.16 додатку); $K_{пн}$ - поправний коефіцієнт попереднього навантаження кабелю в нормальному режимі (табл. 14 додатку);

В післяаварійному режимі:

$$I_{р.к-м.авар.} / (K_{к} K_{т} K_{с} K_{кп}) \leq I_{прип.к-м}, \quad (7.9)$$

де $K_{кп}$ - поправний коефіцієнт короточасного перевантаження в післяаварійному режимі (табл. 14 додатку).

Припустимі тривалі струмові навантаження жил кабелів 0,4–10 кВ $I_{\text{прип.к-м}}$ наведені в табл.12 додатку з розрахунку прокладення в землі на глибині 0,7-1,0 м не більше одного кабеля при температурі землі +15 °С і питомому тепловому опорі 120 см*К/Вт і прокладанні у повітрі при температурі +25 °С. При цьому припустимі температури нагрівання жил кабелів з бумажною просоченою ізоляцією 0,4 кВ складає +80 °С, а для напруги 10 кВ – +60 °С, кабелі с пластмасовою ізоляцією – +65 °С.

При температурі землі, що відрізняється від +15 °С, слід припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, змінювати шляхом введення поправного коефіцієнта K_t , значення якого наведені в табл. 15 додатку.

При питомому тепловому опорі землі, що відрізняється від 120 Ом/Вт, припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, треба змінити шляхом введення поправного коефіцієнта K_c , значення якого наведені в табл. 16 додатку.

Кабельні лінії, що несуть в нормальних режимах навантаження, менші за номінальні, можуть короткочасно перевантажуватися в нормальному і після аварійному режимах, для цього припустимі тривалі струми, вказані в таблиці, змінюють в нормальному режимі, на коефіцієнт попереднього навантаження кабеля $K_{\text{пн}}$, а в післяаварійному – на $K_{\text{кп}}$ (табл. 14 додатку). Як правило, на час ліквідації аварії, припустиме перевантаження кабеля 0,4- 10 кВ з бумажною просоченою ізоляцією вибирають рівним $K_{\text{кп}}=1,3$ (з урахуванням попереднього навантаження в нормальному режимі у години максимуму $K_{\text{пн}}=0,8$).

Середньомісячна температура ґрунту на глибині прокладання кабеля для всіх районів України в осінньо-зимовий сезон складає 10 °С, а для літнього сезону 20-25 °С залежно від регіону. Для Харківської області ця температура становить 20 °С.

Розрахунок жил кабелів за припустимою втратою напруги здійснюють за виразом

$$\Delta U_{\text{нб}} \leq \Delta U_{\text{прип}}, \quad (7.10)$$

де $\Delta U_{\text{нб}}$ - найбільша втрата напруги в нормальному режимі роботи, В; $\Delta U_{\text{прип}}$ - припустима втрата напруги, В.

Припустима втрата напруги в розподільній мережі 10 кВ до найбільш віддаленого ТП в нормальному режимі, при відсутності живлючої мережі 10 кВ, не повинна перевищувати 6%, а при наявності живлючої мережі 10 кВ – 4%.

Для лінії з декількома ділянками розподільної мережі втрату напруги від шин джерела живлення до найбільш віддаленого навантаження розраховують за формулою:

$$\Delta U_{\text{нб}} = \frac{I}{U_{\text{ном}}} \left(\sum_{k=1}^n P_k r_k + \sum_{k=1}^n Q_k x_k \right), \quad (7.11)$$

де $U_{\text{ном}}$ - номінальна напруга лінії, кВ; P_k, Q_k - активна і реактивна потужність на к-й ділянці лінії, кВт, кВАр; r_k, x_k - активний і реактивний опір к-ї ділянки лінії довжиною l_k , Ом;

$$r_k = r_0 l_k ; \quad x_k = x_0 l_k . \quad (7.12)$$

Активний r_0 та індуктивний x_0 опір кабелів наведені в табл. 17 додатку.

Розрахунок розподільної мережі 10 кВ за термічною стійкістю при струмах короткого замикання та виконанні живильної мережі можна виконати за виразом

$$F_{\min} \geq \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_n}, \quad (7.13)$$

де I_{∞} - сталий струм короткого замикання, кА; F_{\min} - мінімально допустимий переріз жили кабеля, мм² за умовою термічної стійкості при струмах к.з.;

$$C=85\ldots90; t_n=t_3+t_{отк}=0,2\ldots0,6 \text{ с};$$

t_3 - час спрацювання захисту; $t_{отк}$ - час спрацювання вимикачів, що дорівнює 0,1...0,2 с.

Приклад. Розрахувати петльову схему мережі 10 кВ, якщо відоме навантаження з боку 10 кВ міських трансформаторних підстанцій відповідно до схеми:

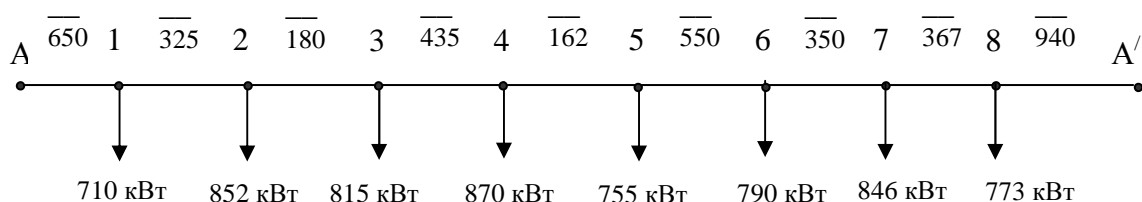


Рис. 7.12 – Розрахункова схема до прикладу
(відстань між підстанціями дана в метрах)

Розв'язання. Якщо навантаження дане з боку 0,4 кВ трансформаторної підстанції, то слід враховувати втрати в трансформаторах. В цьому випадку треба скористатися приблизними втратами з використанням коефіцієнта втрат на трансформаторній підстанції:

$$I_{\text{ТП}} = \frac{S_{\text{ТП}} K_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} U}, \quad (7.14)$$

де $K_{\text{ТП}}=1,038$ – коефіцієнт втрат енергії на трансформаторній підстанції; $S_{\text{ТП}}$ - навантаження трансформаторної підстанції; $U=10$ кВ напруга розподільної мережі. Оскільки в умові прикладу навантаження дане з боку 10 кВ, то струм, що споживається першою трансформаторною підстанцією, визначається як

$$I_{\text{ТП}} = \frac{S_{\text{ТП}}}{\sqrt{3} U} = \frac{771,6}{\sqrt{3} * 10} = 44,6 (A). \quad (7.15)$$

Аналогічно знаходимо струм на всіх підстанціях, і тоді розрахункова схема й вихідні дані матимуть вигляд

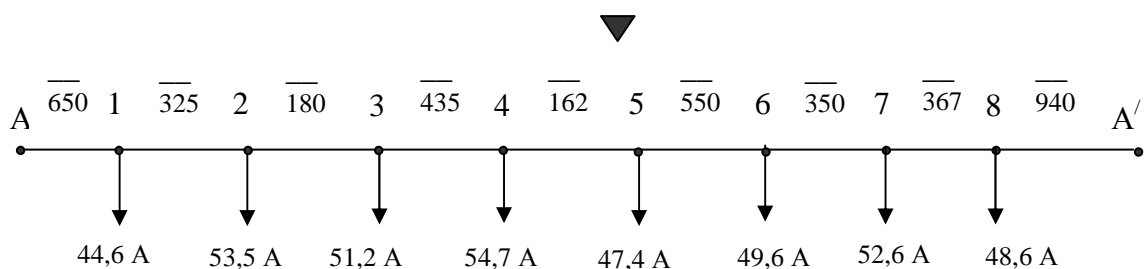


Рис.7.13 – Перетворена розрахункова схема

Струм на головній ділянці визначається так:

$$I_{\Pi A} = \frac{\sum I_m l_m}{l_{\Sigma}}, \quad (7.16)$$

де l_m - довжина протилежних плечей, м; l_{Σ} - сумарна довжина всіх ділянок, м; I_m - значення струму відповідної підстанції, А.

Так, для наведеного прикладу значення струму на головній ділянці А знаходимо як

$$I_A = \frac{44,6 * 3309 + 53,5 * 2984 + 51,2 * 2804 + 54,7 * 2369 + 47,4 * 2207 + 49,6 * 1657 + 52,6 * 1307 + 48,6 * 940}{3959} = 222,7 \text{ А}$$

Струм на головній ділянці А':

$$I_{A'} = \frac{48,6 * 3019 + 52,6 * 2652 + 49,6 * 2302 + 47,4 * 1752 + 54,7 * 1590 + 51,2 * 1155 + 53,5 * 975 + 44,6 * 650}{3959} = 179,5(\text{ А}).$$

Знаходимо струми на ділянках мережі:

$$I_{12} = I_A - I_1 = 222,7 - 44,6 = 178,1(\text{ А});$$

$$I_{23} = I_{12} - I_2 = 178,1 - 53,5 = 124,6(\text{ А});$$

$$I_{34} = I_{23} - I_3 = 124,6 - 51,2 = 73,4(\text{ А});$$

$$I_{54} = I_{34} - I_4 = 73,4 - 54,7 = 18,7(\text{ А});$$

$$I_{78} = I_{A'} - I_8 = 179,5 - 48,6 = 130,9(\text{ А});$$

$$I_{67} = I_{78} - I_7 = 130,9 - 52,6 = 78,3(\text{ А});$$

$$I_{56} = I_{67} - I_6 = 78,3 - 49,6 = 28,7(\text{ А});$$

Точка поточкорозділу знаходиться на підстанції 5. Найменше значення струму на ділянці 5-4, тому в нормальному режимі роз'єднувач встановлюється на цій ділянці, тоді уточнюємо розподіл струмів по ділянках:

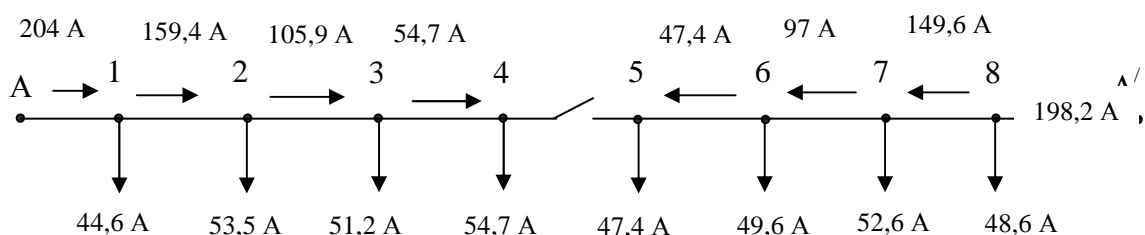


Рис. 7.14 – Розподіл струму навантаження в нормальному режимі

Переріз кабеля на кожній ділянці вибираємо за економічною щільністю струму і перевіряємо за тривало-припустимим струмом на нагрівання в нормальному й аварійному режимах, а також за втратами напруги до самої віддаленої точки ділянок мережі в нормальному і аварійному режимах.

Визначаємо економічно вигідний переріз для ділянки мережі А-1 за виразом (7.7):

$$F_{A-I} = \frac{I_{p.A-I}}{J_{ек}} = \frac{204}{1,4} = 145,7 \text{ мм}^2.$$

$J_{ек} = 1,4$ - для кабелів з бумажною ізоляцією і $T_m = 4000 \text{ год/рік}$.

Відповідно до ДСТ вибираємо переріз 150 мм^2 . Для цього перерізу кабеля припустимий струм за табл. 12 (додатку) $I_{доп.A-I} = 275 \text{ А}$.

Перевіряємо переріз за умовами нагрівання в нормальному режимі за виразом (7.8):

$$I_{p.к-м.норм.} / (K_k K_l K_c K_{nn}) \leq I_{прип.к-м}, ;$$

$$204 / (1,0 * 1,04 * 1,0 * 0,8) \leq 275 ;$$

$$245 \leq 275 .$$

У нормальному режимі умова задовольняється. Залишаємо вибраний переріз для перевірки його в післяаварійному режимі. У післяаварійному режимі живлення всіх підстанцій здійснюється за схемою:

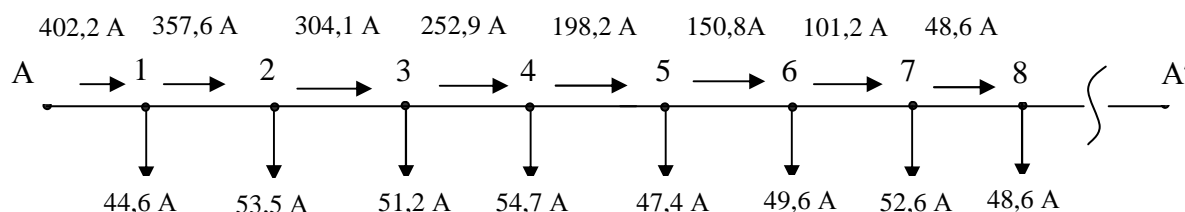


Рис. 7.15 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А

Відповідно до цього $I_{p.A-I, авар} = 402,2 \text{ А}$, тоді за виразом (7.9)

$$402,2 / (1,0 * 1,04 * 1,0 * 1,3) \leq 275 ,$$

$297,5 \leq 275$ - це не збігається з умовою, тому підвищуємо переріз кабеля на одну ступінь $F=185 \text{ мм}^2$, а припустимий струм для цього кабеля $I_{прип.A-I} = 310 \text{ А}$. Тоді за формулою (7.9) можна записати

$$402,2 / (1,0 * 1,04 * 1,0 * 1,3) \leq 310 ,$$

$297,5 \leq 310$ - ця умова дотримується, що підтверджує – кабель проходить за нагріванням в післяаварійному режимі при живленні від точки А. Аналогічно вибираємо переріз кабеля на всіх ділянках мережі й заносимо в табл. 7.1. Для перевірки кабеля в післяаварійному режимі при живленні від точки А' схема живлення міських ТП матиме вигляд:

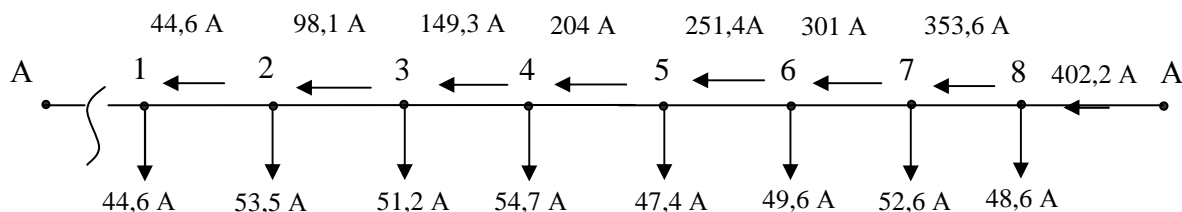


Рис. 7.16 – Схема живлення підстанцій в післяаварійному режимі при живленні від точки А'.

Проводимо аналогічні розрахунки, як і в першому аварійному режимі, результати їх зводимо в табл. 7.1. Якщо на будь-якій ділянці мережі кабель за припустимим струмом на нагрівання в післяаварійному режимі не проходить, то збільшуємо переріз кабеля на одну або дві ступіні залежно від потреби й записуємо в таблицю.

При виборі перерізу кабеля на ділянці 4-5, де в нормальному режимі струм відсутній, слід скористатися струмами післяаварійного режиму. В першому аварійному режимі струм на цій ділянці дорівнює 204 А, а в другому – 198,2 (див. табл. 7.1). Виходячи з найбільш важкого першого аварійного режиму для цієї ділянки, вибираємо струм – 204 А. За виразом (7.9) вибираємо припустимий струм кабеля, що задовольняє цій умові:

$$204 / (1,0 * 1,04 * 1,0 * 1,3) \leq 150,8.$$

З табличних даних (див. табл. 12 додатку) вибираємо припустимий струм 165 А, що відповідає перерізу кабеля 70 мм².

Перевіряємо вибраний переріз кабелів за втратами напруги в нормальному і аварійному режимах. Виразивши через струми рівняння (7.11), можна представити втрати напруги у % від номінальної напруги формулою:

$$\Delta U \% = \sqrt{3} (I R_{\text{л}} \cos \varphi + I X_{\text{л}} \sin \varphi) 100 / U_{\text{н}} \quad (7.17)$$

Перевіряємо переріз вибраного кабеля за втратами напруги в нормальному режимі, попередньо визначивши активний і реактивний опір ділянок мережі та записавши їх значення в табл. 7.1:

$$\Delta U \% = \sqrt{3} (204 * 0,109 * 0,92 + 204 * 0,05 * 0,39) * 100 / 10000 = 0,42\%.$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших ділянок, результати зводимо в табл. 7.1. Таким же чином здійснюємо розрахунки і для двох після аварійних режимів, як це показано в таблиці.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що втрати напруги як в нормальному, так і в після аварійному режимах не перевищують припустимих значень. Значить, вибрані перерізи кабелів задовольняють вимогам за втратами напруги.

Перевірка кабелів на термічну стійкість в цьому розділі не проводиться, тому що відсутні розрахунки струмів короткого замикання.

Далі необхідно розрахувати втрати потужності в нормальному режимі:

$$\Delta P = I_{\text{р.норм}}^2 R_{\text{н каб}} \quad (7.18)$$

Розрахуємо ΔP на ділянці А-1

$$\Delta P = 3 * 204^2 * 0,109 * 2$$

Таблиця 7.1 – Розрахункові дані для розподільної мережі 10 кВ

Найменування	Ділянка мережі								
	А-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Струм ділянки в нормальному режимі $I_{\text{р.к-м.норм}}, \text{А}$	204,0	159,4	105,9	54,7	-	47,4	97,0	149,6	198,2

Продовження таблиці 7.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розрахунковий переріз кабеля $F_{\text{жк}}, \text{мм}^2$	145,7	113,9	75,6	39,0	-	33,9	69,3	106,9	141,6
Переріз за ДСТ, мм^2	150	120	95	50	-	35	70	120	150
Припустимий струм кабеля, $I_{\text{прип}}, \text{А}$	275	240	205	140	-	115	165	240	275
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{пн}}) I_{\text{прип}}, \text{А}$	228,8	199,7	170,6	116,5	-	95,7	137,3	199,7	228,8
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі при живленні від точки А $I_{\text{р.к-м.авар.}}, \text{А}$	402,2	357,6	304,1	252,9	198,2	150,8	101,2	48,6	-
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі при живленні від точки А' $I_{\text{р.к-м.авар.}}, \text{А}$	-	44,6	98,1	149,3	204	251,4	301	353,6	402,2
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{кп}}) I_{\text{прип}}, \text{А}$	371,8	324,5	277,2	189,3	-	155,5	223,1	324,5	371,8
Уточнений переріз кабеля за ДСТ, мм^2	185	150	120	95	70	95	120	150	185
Припустимий струм кабеля, $I_{\text{прип}}, \text{А}$	310	275	240	205	165	205	240	275	310
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в післяаварійному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\text{кп}}) I_{\text{прип}}, \text{А}$	419,0	371,8	324,5	277,2	223,1	277,2	324,5	371,8	419,0
Активний опір кабеля по ділянках, Ом	0,109	0,066	0,045	0,142	0,073	0,179	0,09	0,076	0,157
Реактивний опір кабеля по ділянках, Ом	0,05	0,026	0,015	0,036	0,014	0,046	0,028	0,029	0,072
Втрати напруги в нормальному режимі, $\Delta U^{\text{н}}, \%$	0,42	0,2	0,27	0,14	-	0,15	0,16	0,21	0,59
Сумарні втрати до віддаленої точки $\sum \Delta U^{\text{н}}, \%$				1,03	-	1,11			
Втрата напруги в аварійному режимі при живленні від точки А $\Delta U^{\text{А}}, \%$	0,82	0,45	0,78	0,65	0,14	0,48	0,17	0,07	-

Продовження таблиці 7.1.

Сумарні втрати до віддаленої точки в аварійному режимі при живленні від точки А $\sum \Delta U^A, \%$								3,56	
Втрата напруги в аварійному режимі при живленні від точки А' $\Delta U^A, \%$	-	0,05	0,25	0,38	0,14	0,79	0,49	0,5	1,2
Сумарні втрати до віддаленої точки в аварійному режимі при живленні від точки А' $\sum \Delta U^A, \%$		3,8							
$\Delta P, \text{кВт}$	27,2	10,1	3,0	2,5	-	2,4	5,1	10,2	37,0

7.4 Розрахунок розподільної електричної мережі 0,4 кВ

Переріз жил кабелів розподільних мереж 0,4 кВ повинні бути вибрані, а потім перевірені за припустимим тривалим струмовим навантаженням по нагріванню у нормальному й післяаварійному режимах, припустимою втратою напруги в нормальному й післяаварійному режимах.

Попередній вибір перерізів кабелів роблять, виходячи з середніх значень граничних втрат напруги в нормальному режимі в мережах 0,4 кВ (от ТП до введів у будівлю) не більше 4% і здійснюють за формулою:

$$F = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{\text{прип}} U_n^2 n_k} \sum PL, \quad (7.18)$$

де γ - питома провідність алюмінію, $\gamma = 32 \text{ м/Ом} \cdot \text{мм}^2$;

$\Delta U_{\text{прип}}$ - припустима втрата напруги, 4%;

U_n - лінійна напруга мережі, В;

$\sum PL$ - сума моментів навантаження, кВт*м;

n_k - кількість кабелів.

За припустимим тривалим струмовим навантаженням по нагріванню в нормальному й післяаварійному режимах перевірку кабеля здійснюють за виразами (7.8)-(7.9).

За припустимою втратою напруги кабель можна перевірити за формулою:

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL. \quad (7.19)$$

Приклад. Розрахувати розподільну мережу 0,4 кВ, якщо відоме навантаження житлових будинків і схема підключення відповідно до рис. 7.17.

Розв'язання.

Робимо попередній вибір перерізу кабеля за формулою (7.17) для ділянок розподільної мережі 0,4 кВ:

$$F_{\text{ТП1-1}} = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{\text{прип}} U_n^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 * 4 * 380^2} * 63 * 55 = 18,7 \text{ мм}^2$$

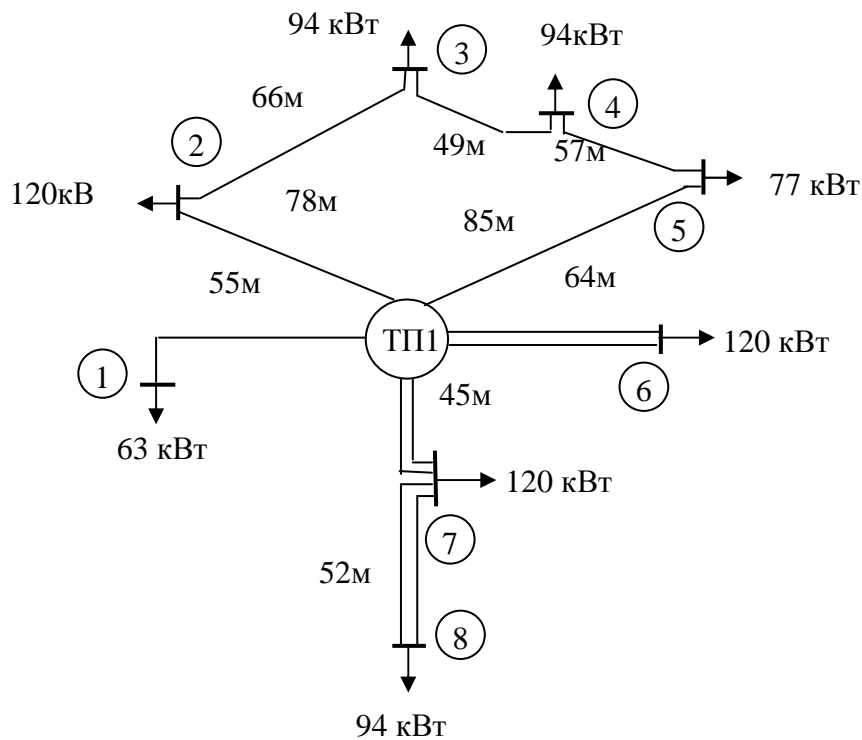


Рис. 7.17 – Схема розподільної мережі 0,4 кВ

За ДСТ приймаємо переріз кабеля 25 мм^2 .

$$F_{ТП1-6} = \frac{10^5}{32 * 4 * 2 * 380^2} * 120 * 64 = 20,8 \text{ мм}^2.$$

За ДСТ приймаємо переріз кабеля $2 * 25 \text{ мм}^2$.

$$F_{ТП1-7} = \frac{10^5}{32 * 4 * 2 * 380^2} * [94 * (52 + 45) + 120 * 45] = 39,2 \text{ мм}^2.$$

За ДСТ приймаємо переріз кабеля $2 * 50 \text{ мм}^2$.

Для знаходження перерізу кабеля на ділянці 7-8 необхідно визначити втрати напруги ділянки ТП1-7:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 * 2 * 50 * 380^2} * 214 * 45 = 2,08(\%).$$

Визначаємо переріз кабеля на ділянці 7-8:

$$F_{7-8} = \frac{10^5}{32 * (4 - 2,08) * 2 * 380^2} * 94 * 52 = 27,5 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ $2 * 35 \text{ мм}^2$.

Для електричної мережі, виконаної за петльовою схемою, слід, як і у попередньому розділі, визначити потік потужності по ділянках і точку потокорозділу.

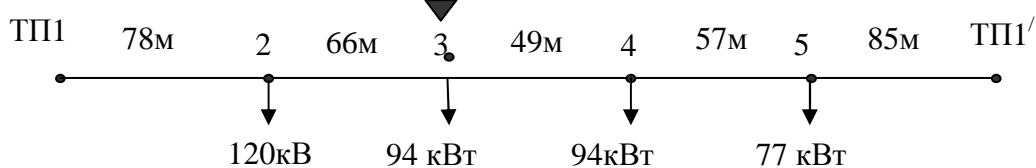


Рис. 7.18 – Петльова схема розподільної мережі 0,4 кВ міської підстанції

Визначаємо потік потужності на головних ділянках і розподіляємо його по ділянках розподільної мережі:

$$P_{ТП1} = \frac{\sum P_m l_m}{l_\Sigma} = \frac{120 * 257 + 94 * 191 + 94 * 142 + 77 * 85}{335} = 205 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1'} = \frac{\sum P_m l_m}{l_\Sigma} = \frac{77 * 250 + 94 * 193 + 94 * 144 + 120 * 78}{335} = 180 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1-2} = 205 \text{ кВт}; \quad P_{2-3} = 205 - 120 = 85 \text{ кВт}; \quad P_{ТП1'-5} = 180 \text{ кВт};$$

$$P_{4-5} = 180 - 77 = 103 \text{ кВт}; \quad P_{3-4} = 103 - 94 = 9 \text{ кВт};$$

Ділянка 3-4 має мінімальний потік потужності, тому на цій ділянці і встановлюється розрив:

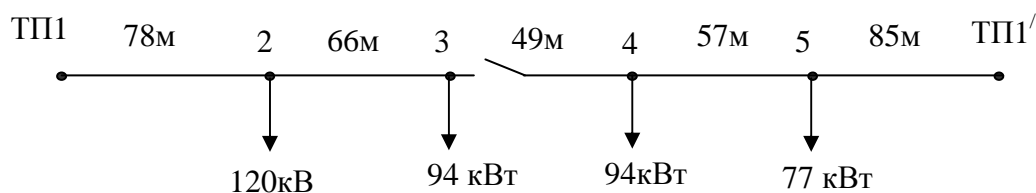


Рис.7.19 – Розподільна мережа 0,4 кВ в нормальному режимі

У нормальному режимі потоки потужності розподіляться по ділянках таким чином:

$$P_{ТП1-2} = 120 + 94 = 214 (\text{кВт}); \quad P_{2-3} = 94 \text{ кВт};$$

$$P_{ТП1-5} = 77 + 94 = 171 (\text{кВт}); \quad P_{4-5} = 94 \text{ кВт}.$$

Попередньо визначаємо переріз кабелів:

$$F_{ТП1-2} = \frac{10^5}{32 * 4 * 380^2} * [94 * (66 + 78) + 120 * 78] = 124 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 150 мм².

Визначаємо втрати напруги на ділянці ТП1-2:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2 n_k} \sum PL = \frac{10^5}{32 * 150 * 380^2} * 214 * 78 = 2,41\%.$$

Переріз кабеля на ділянці 2-3:

$$F_{2-3} = \frac{10^5}{32 * (4 - 2,41) * 380^2} * 94 * 66 = 84,4 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 95 мм².

Переріз кабеля на ділянці ТП1-5:

$$F_{ТП1-5} = \frac{10^5}{32 * 4 * 380^2} * [94 * (57 + 85) + 77 * 85] = 107,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 120 мм².

Визначаємо втрати напруги на ділянці ТП1-5:

$$\Delta U \% = \frac{10^5}{\gamma F U_n^2} \sum PL = \frac{10^5}{32 * 120 * 380^2} * 214 * 85 = 3,28\%.$$

Перетин кабелю на ділянці 4-5:

$$F_{4-5} = \frac{10^5}{32 * (4 - 3,28) * 380^2} * 94 * 57 = 161,0 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабеля за ДСТ 185 мм².

Отримані результати зводимо в табл. 7.2.

При визначенні розрахункового струму в нормальному режимі по ділянках мережі скористаємося формулою

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}. \quad (7.20)$$

Для ділянки мережі ТП1-1:
$$I_p = \frac{63 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,92} = 104,2 (A).$$

Аналогічно визначаємо розрахунковий струм кабеля в нормальному режимі по інших ділянках і результати зводимо в таблицю. Визначаючи розрахунковий струм кабеля в нормальному режимі для ділянки ТП1-6, що містить два кабелі за виразом (7,20) можна записати:

$$I_p = \frac{120 * 10^3}{2 * \sqrt{3} * 380 * 0,92} = 99,2 A.$$

Припустимий струм кабеля в нормальному режимі визначаємо за виразом

$$I_{доп}^H = (K_{\kappa} K_t K_c K_{nn}) I_{нрпн}. \quad (7.21)$$

Для ділянки ТП1-1: $I_{нрпн}^H = (1,0 * 1,04 * 1,0 * 0,8) 106 = 88,2 (A).$

Визначаємо аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю.

Припустимий струм кабеля післяаварійного режиму знаходимо за виразом:

$$I_{доп}^{ПА} = (K_{\kappa} K_t K_c K_{кп}) I_{нрпн}. \quad (7.22)$$

Визначаємо припустимий струм кабеля післяаварійного режиму для ділянки ТП1-6: $I_{нрпн}^{ПА} = (1,0 * 1,04 * 1,0 * 1,3) 106 = 143,3 (A).$

Визначаємо струм аналогічно для інших ділянок і результати вносимо в таблицю.

При визначенні розрахункового струму кабеля післяаварійного режим по ділянці мережі ТП1-6 скористаємось формулою:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi} = \frac{120 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,92} = 198,4 A.$$

Якщо попередньо вибраний кабель (за припустимою втратою напруги) не проходить післяаварійного режиму, то переріз кабеля уточнюється в бік збільшення на одну ступінь або більше залежно від розрахункового струму післяаварійного режиму. Далі, як і на початку розрахунку, проводимо порівняльний аналіз. Всі результати розрахунків також зводимо в таблицю. На ділянках ТП1-2, ТП1-5, 4-5 післяаварійного режиму струми значно перевищують припустимі струми кабеля максимального перерізу, тому на цих ділянках використовуємо в лінії два кабелі. Після кінцевого вибору кабеля перевіряємо розподільну мережу 0,4 кВ за втратою напруги.

Для ділянки ТП1-1 втрата напруги в нормальному режимі складає

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{32 * 25 * 380^2} * 63 * 55 = 3,0\%.$$

Для ділянки ТП1-6:

$$\text{в нормальному режимі } \Delta U\% = \frac{10^5}{32 * 2 * 25 * 380^2} * 120 * 64 = 3,3\%;$$

$$\text{в післяаварійному режимі } \Delta U\% = \frac{10^5}{32 * 25 * 380^2} * 120 * 64 = 6,6\%.$$

Аналогічно визначаємо втрати напруги в нормальному і післяаварійному режимі для всіх ділянок і визначаємо сумарні втрати по мережі до самої віддаленої точки. Результати розрахунків зводимо в таблицю.

При розрахунку петльової схеми в післяаварійному режимі слід враховувати два випадки: живлення всіх електроприймачів по ділянках ТП1-1 і живлення по ділянці ТП1-5.

Таблиця 7.2 – Розрахункові дані по розподільній мережі 0,4 кВ

Найменування	Ділянка мережі								
	ТП1-1	ТП1-6	ТП1-7	7-8	ТП1-2	2-3	3-4	ТП1-5	4-5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розрахунковий переріз кабеля, мм ²	18,7	20,8* 2	39,2*2	27,5* 2	124	84,4	-	107,6	161,0
Прийнятий перетин за ДСТ, мм ²	25	2*25	2*50	2*35	150	95	-	120	185
Розрахунковий струм кабеля в нормальному режимі, А	104,2	99,2	176,9	77,7	353,8	155,4	-	282,7	155,4
Припустимий струм кабеля $I_{прп}$, А	106	106	161	129	308	235	-	271	354
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів в нормальному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\kappa n}) I_{прп}$, А	88,2	79,4	120,6	96,6	256,2	195,2	-	225,5	294,5
Розрахунковий струм у післяаварійному режимі, (живлення по ділянці ТП1-2 для петльової схеми), А	-	198,4	353,8	155,4	636,0	438,2	282,7	-	127,0
Розрахунковий струм в післяаварійному режимі, (живлення по ділянці ТП1-5 для петльової схеми), А	-	198,4	353,8	155,4	-	198,4	353,8	636,0	509,3
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\kappa n}) I_{прп}$, А	-	143,3	217,7	174,4	416,4	317,7	366,4	366,4	478,6
Уточнення перерізу кабеля за ДСТ, мм ²	25	2*50	2*120	2*35	2*95	185	120	2*95	2*70
Припустимий струм кабеля, $I_{прп}$, А	106	161	271	129	235	354	271	235	193
Припустимий струм кабеля з урахуванням поправних коефіцієнтів у післяаварійному режимі, $(K_{\kappa} K_t K_c K_{\kappa n}) I_{прп}$, А	-	217,7	366,4	174,4	317,7	478,6	366,4	317,7	260,9

Продовження табл. 7.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Втрати напруги у нормальному режимі, $\Delta U^n, \%$	3,0	3,3	0,87	1,5	1,9	0,73	-	1,66	0,83
Сумарні втрати до віддаленої точки в нормальному режимі $\sum \Delta U^n, \%$	3,0	3,3		2,37		2,63	-		2,49
Втрати напруги у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-2 для петльової схеми) $\Delta U^A, \%$	-	6,6	1,74	3,0	3,4	2,0	1,5	-	0,68
Сумарні втрати до віддаленої точки у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-2 для петльової схеми) $\sum \Delta U^A, \%$	-	6,6		1,74 + 1,5 = 3,24					7,58
Втрати напруги у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-5 для петльової схеми) $\Delta U^A, \%$	-	6,6	1,74	3,0	-	0,93	1,89	3,73	2,71
Сумарні втрати до віддаленої точки у післяаварійному режимі (при живленні по ділянці ТП1-5 для петльової схеми) $\sum \Delta U^A, \%$	-	6,6		0,87 + 3,0 = 3,87		9,26			

8. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ (СКЗ) У РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 10 КВ

Сучасні розподільні мережі 10 кВ працюють з ізольованою нейтраллю або з компенсацією ємнісних струмів. Тому в них можливі такі пошкодження: трифазні, двофазні й подвійні замикання на землю, а також однофазні замикання на землю. У цьому курсовому проекті для вибору електрообладнання достатньо розрахувати трифазне коротке замикання. Розрахунки можна виконувати в іменованих одиницях, оскільки це дозволяє безперервно контролювати достовірність ведення розрахунку і правильність отримання результатів.

Для розрахунку струмів короткого замикання необхідно визначити опір до точки к.з.:

$$Z_{екв.} = \sqrt{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)^2 + (x_c + x_1 + x_2 + \dots + x_n)^2}, \quad (8.1)$$

де x_c - опір системи, Ом; $r_1, r_2, \dots, r_n, x_1, x_2, \dots, x_n$ - опори елементів розподільної мережі, Ом.

Опір системи визначаємо як

$$x_c = \frac{U_n^2 \sqrt{3}}{S_{к.з.}}, \quad (8.2)$$

де $S_{к.з.}$ - потужність короткого замикання, МВА.

Сталий струм короткого замикання у будь-якій точці знаходимо так:

$$I_{\kappa} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}Z_{\text{екв.}}}, \quad (8.3)$$

де $Z_{\text{екв.}}$ - сумарний опір до точки короткого замикання.

При живленні від джерела нескінченної потужності його незмінна й періодична складова струму короткого замикання, тоді

$$I'' = I_{\text{н.о.}} = I_{\kappa}, \quad (8.4)$$

де $I'' = I_{\text{н.о.}}$ - початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання. Ударний струм короткого замикання:

$$i_y = 1,8\sqrt{2}I_{\text{н.о.}} = 2,55I_{\text{н.о.}} \quad (8.5)$$

При визначенні періодичної складової СКЗ в момент розходження контактів вимикача $I_{\text{н}\tau}$ можна вважати ЕРС системи і періодичну складову ТКЗ незмінними в часі, тобто $I_{\text{н}\tau} = I_{\text{н.о.}}$.

Аперіодична складова ТКЗ до моменту розходження контактів

$$i_{a\tau} = \sqrt{2}I_{\text{н.о.}}e^{\frac{-\tau}{T_a}}, \quad (8.6)$$

де τ - розрахунковий час, для якого треба знайти $i_{a\tau}$.

Розрахунковий час $\tau = t_{\text{з.мин.}} + t_{\text{с.вык.}}$,

де $t_{\text{з.мин.}}$ - мінімальний час дії релейного захисту (приймається рівним 0,01 с);

$t_{\text{с.вык.}}$ - особистий час відключення вимикача (приймається за каталогами залежно від типу вимикача).

Повний інтеграл Джоуля СКЗ є результатом дії періодичної ($B_{\text{к.н.}}$) і аперіодичної ($B_{\text{к.а.}}$) складових СКЗ:

$$B_{\text{к.}} = B_{\text{к.н.}} + B_{\text{к.а.}} \quad (8.7)$$

При віддаленому КЗ, коли періодична складова СКЗ в часі не змінюється,

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о.}}^2 \left[t_{\text{відкл.}} + T_a \left(1 - e^{\frac{-2t_{\text{відкл.}}}{T_a}} \right) \right], \quad (8.8)$$

де $t_{\text{відкл.}} = t_{\text{з.}} + t_{\text{вимик.}}$ - час від початку КЗ до його відключення, с; $t_{\text{з.}}$ - час дії релейного захисту, с; $t_{\text{вимик.}}$ - повний час відключення вимикача з приводом, с.

Якщо $\frac{t_{\text{відкл.}}}{T_a} = 1 \div 2$, то можна застосувати вираз

$$B_{\text{к}} = I_{\text{н.о.}}^2 (t_{\text{відкл.}} + T_a). \quad (8.9)$$

Приклад. Розрахувати струм короткого замикання в точках К1-К5 для схеми рис.8.1. Потужність короткого замикання $S_{\text{к.з.}} = 250 \text{ МВА}$. Опір ділянок розподільної мережі 10 кВ: $x_1 = 0,01$; $r_1 = 0,25$; $x_2 = 0,04$; $r_2 = 0,18$; $x_3 = 0,03$; $r_3 = 0,16$. Розрахункові перерізи кабелів на ділянках: (1-2) - 120 мм²; (2-3) - 95 мм²; (3-4) - 70 мм².

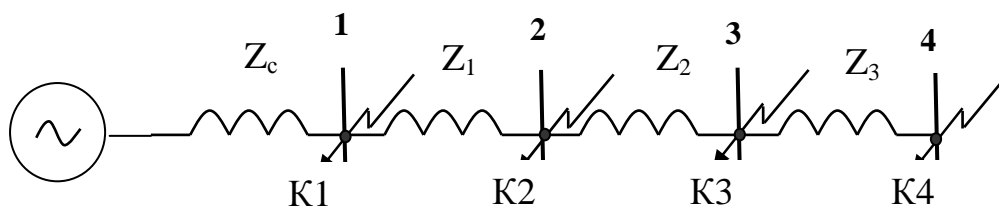


Рис. 8.1 – Розрахункова схема розподільної мережі 10 кВ

Визначаємо опір системи:

$$x_c = \frac{U_n^2}{S_{к.з.}} = \frac{10^2}{250} = 0,4 \text{ Ом.}$$

Визначаємо еквівалентні опори

$$Z_{екв.2} = \sqrt{r_1^2 + (x_c + x_1)^2} = \sqrt{0,25^2 + (0,4 + 0,01)^2} = 0,48 \text{ Ом}$$

$$Z_{екв.3} = \sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_c + x_1 + x_2)^2} = \sqrt{(0,25 + 0,18)^2 + (0,4 + 0,01 + 0,04)^2} = 0,62 \text{ Ом}$$

$$Z_{екв.4} = \sqrt{(r_1 + r_2 + r_3)^2 + (x_c + x_1 + x_2 + x_3)^2} = \\ = \sqrt{(0,25 + 0,18 + 0,16)^2 + (0,4 + 0,01 + 0,04 + 0,03)^2} = 0,76 \text{ Ом}$$

Струм короткого замикання в точці K1 визначається:

$$I_{к1} = \frac{U_n}{\sqrt{3}x_c} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0,4} = 14,4 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці K2:

$$I_{к2} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{екв.2}} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0,48} = 12,0 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці K3:

$$I_{к3} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{екв.3}} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0,62} = 9,3 \text{ кА.}$$

Струм короткого замикання в точці K4:

$$I_{к4} = \frac{U_n}{\sqrt{3}Z_{екв.4}} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0,76} = 7,6 \text{ кА.}$$

Ударний струм короткого замикання в точках:

$$\text{K1-} \quad i_y = 1,8\sqrt{2}I_{н.о.} = 2,55I_{н.о.} = 2,55 * 14,4 = 36,7 \text{ кА.}$$

$$\text{K2-} \quad i_y = 1,8\sqrt{2}I_{н.о.} = 2,55I_{н.о.} = 2,55 * 12 = 30,6 \text{ кА.}$$

$$\text{K3-} \quad i_y = 1,8\sqrt{2}I_{н.о.} = 2,55I_{н.о.} = 2,55 * 9,3 = 23,7 \text{ кА.}$$

$$\text{K4 -} \quad i_y = 1,8\sqrt{2}I_{н.о.} = 2,55I_{н.о.} = 2,55 * 7,6 = 19,4 \text{ кА.}$$

Аперіодичну складову СКЗ до моменту розходження контактів для точки короткого замикання K1 визначаємо за виразом (10.6). При цьому постійну часу T_a для установок більше 1 кВ можна прийняти приблизно 0,05 с. Розрахунковий

час, для якого потрібно знайти аперіодичну складову для наведеного прикладу, знаходимо з розрахунку мінімального часу дії релейного захисту (0,01 с) і власного часу відключення вимикача (0,1 с):

$$K1 \quad i_{a\tau} = \sqrt{2} I_{n.o.} e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} * 14,4 e^{\frac{-0,11}{0,05}} = 2,26 \text{ кА}.$$

Аналогічно аперіодичну складову визначаємо для інших точок короткого замикання: $K2 - i_{a\tau} = 1,88 \text{ кА}$; $K3 - i_{a\tau} = 1,46 \text{ кА}$; $K4 - i_{a\tau} = 1,11 \text{ кА}$;

Повний інтеграл Джоуля СКЗ для точки K1 можна встановити за виразом

$$B_k = I_{n.o.}^2 (t_{відкл.} + T_a) = (14,4 * 10^3)^2 * 0,16 = 33,2 * 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Аналогічно знаходимо інтеграл Джоуля СКЗ для інших точок короткого замикання:

$$K2 - B_k = 23 * 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}; \quad K3 - B_k = 13,8 * 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}; \quad K4 - B_k = 9,2 * 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с};$$

Визначаємо мінімальний переріз кабелів за термічною стійкістю для ділянок:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{k.з.}}}{c}, \quad (8.10)$$

де c – коефіцієнт, який для кабелів 10 кВ з бумажно-просиченою ізоляцією дорівнює 100.

$$\text{Ділянка 1-2} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{k.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{23 * 10^6}}{100} = 48 \text{ мм}^2;$$

$$\text{ділянка 2-3} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{k.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{13,8 * 10^6}}{100} = 37,1 \text{ мм}^2;$$

$$\text{ділянка 3-4} - F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{k.з.}}}{c} = \frac{\sqrt{9,2 * 10^6}}{100} = 30,3 \text{ мм}^2;$$

На цих ділянках переріз повинен бути більший, ніж мінімальний, тоді за термічною стійкістю вони проходять. Якщо вибрані раніше кабелі не задовольняють цій умові, то на цих ділянках збільшуємо переріз кабеля, що був вибраний у попередніх розділах. Розрахунки зводимо в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Розрахунок струмів короткого замикання

Найменування величини струму	K1	K2	K3	K4
Сумарний опір до точки к.з. $Z_{ек}$, Ом	0,40	0,48	0,62	0,76
Стале значення струму к.з., $I'' = I_{n.o.} = I_k$, кА	14,4	12,0	9,3	7,6
Ударний струм к.з., i_y , кА	36,7	30,6	23,7	19,4
Аперіодична складова струму к.з., $i_{a\tau}$, кА	2,26	1,88	1,46	1,11
Тепловий імпульс при струмі к.з., B_k , кА ² ·с	33,2*10 ⁶	23,0*10 ⁶	13,8*10 ⁶	9,2*10 ⁶
Мінімальний переріз, F_{\min} , мм ²	–	48,0	37,1	30,3
Прийнятий переріз, F , мм ²	–	120	95	70

9. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ І РОЗПОДІЛЬЧИХ ПУНКТІВ

На ПС установлені камери КМ-ХХУІК.М-1. Раніше був обґрунтований вибір для установки в житловому районі типових ТП єдиної серії К-42-630М4. У ТП установлені камери КСО – 393 з вимикачами навантаження ВІР. З нижчої сторони ТП установлені панелі типу ЩО-90 із запобіжниками ПН-2.

Перевірку устаткування робимо по наступним умовам:

- по номінальній напрузі (номінальна напруга мережі менше або дорівнює номінальній напрузі вимикача);
- по номінальному тривалому струмі (тривалий номінальний струм вимикача більше або дорівнює розрахунковому струму найбільш несприятливого експлуатаційного режиму);
- по електродинамічній стійкості (початкове значення періодичної складової струму короткого замикання менше або дорівнює граничному наскрізному струму, що допускається вимикачем, ударний струм короткого замикання менше або дорівнює номінальному струму електродинамічної стійкості вимикача).

Схеми первинних з'єднань ТП визначаються їхнім призначенням і характером приєднаних споживачів. Приєднання ТП до живильної мережі може здійснюватися або через роз'єднувач і запобіжник, або через вимикач навантаження і запобіжник. Лінії, що відходять напругою до 1000 В захищають за допомогою запобіжників або автоматичних вимикачів. При виборі устаткування ТП 10/0,4 кВ необхідно вибрати:

- з боку 10 кВ - плавкі запобіжники; вимикачі навантаження, вимикачі навантаження на ввідних лініях, секційний роз'єднувач;
- з боку 0,4 кВ - автоматичні вимикачі або плавкі запобіжники, секційний рубильник, рубильник на вводі від трансформатора, трансформатори струму.

Електричні апарати і струмоведучі пристрої повинні надійно забезпечувати можливість тривалої роботи в нормальному режимі, при короткочасних перепадах напруг і перевантаженнях; припустиме нагрівання струмами в важкому режимі; стійкість у режимі КЗ.

У нормальному режимі надійність роботи досягається правильністю вибору по номінальній напрузі і номінальному струмі; в режимі КЗ - відповідністю обраних параметрів умовам термічної і електродинамічної стійкості.

Введемо позначення: $U_{с,ном}$, кВ – номінальна лінійна напруга трифазної мережі, для якої призначений апарат, $U_{у,ном}$, кВ, $I_{с, ном}$, А – номінальна напруга і струм, які він може витримати тривалий час, $I_{р,ном}$, А – діюче значення струму в нормальному режимі, яке пристрій може витримати тривалий час; $I_{доп}$, А – довгостроково припустимий струм; $I_{р, утж}$, А – діюче значення струму в ланцюзі в важкому режимі (максимально можливий тривалий струм навантаження при найбільш несприятливих експлуатаційних режимах); $I_{ном,Т}$, А – номінальний струм термічної стійкості (діюче значення незатухаючого періодичного струму КЗ, яке апарат може витримати протягом номінального часу термічної стійкості $t_{ном,Т}$; $B_k = (I_{кз}^{(3)})^2 * t_{ном,Т}$, кА²с – тепловий імпульс КЗ, який характеризує кількість тепла, що виділяється в апараті за час дії струму КЗ; $I_{н,дин}$, А – діюче значення періодичної складової повного струму КЗ;

$I_{\text{ном,дин}}$ кА – номінальне миттєве амплітудне значення повного струму КЗ, припустимо для пристрою; $I_{\text{п,о}}$ А – початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ; $i_{\text{у,откл.}}$ А – струм відключення.

Розглянемо вибір устаткування ТП.

Вибір електричних пристроїв в електричній схемі ТП проводиться відповідно до розрахункових умов тривалого і короткочасного режимів. Для цього визначимо розрахункові струми $I_{\text{р,ном}}$, $I_{\text{р, утж.}}$. Так як на ТП установлені два силових трансформатори, потужністю по $S_{\text{тр,ном}}=630\text{кВА}$ кожний, то, з урахуванням припустимого навантаження, тривалі струми на стороні 10кВ визначаються за формулами:

– у нормальному режимі (струм через секційний роз'єднувач відсутній)

$$I_{\text{р,ном}}^{10} = \frac{0,8S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{с,ном}}^{10}}, \text{ А} \quad (9.1)$$

– у ремонтному чи післяаварійному режимах, які допускають відключення одного із трансформаторів

$$I_{\text{р,ном}}^{10} = \frac{1,6S_{\text{тр.ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{с,ном}}^{10}}, \text{ А} \quad (9.2)$$

- струм через секційний роз'єднувач $I_{\text{р,утж}}^{\text{ср}} = \frac{I_{\text{р,утж}}^{10}}{2}, \text{ А} \quad (9.3)$

Розрахунок струмів коротких замикань у мережі 10кВ був виконаний у попередніх розділах.

Умови вибору електричних апаратів, їх каталожні данні і розрахункові значення приведені в таблицях.

Таблиця 9.1 - Вибір Плавких запобіжників 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с,ном}}^{10} \leq U_{\text{у,ном}}$		
$I_{\text{доп}} = I_{\text{р,утж}}^{10} \leq I_{\text{у,ном}}$		
$I_{\text{п,о}} = I_{\text{кз}}^{(3)10} \leq I_{\text{у,откл}}$		

Таблиця 9.2 - Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{\text{с,ном}}^{10} \leq U_{\text{у,ном}}$		
$I_{\text{доп}} = I_{\text{р,утж}}^{10} \leq I_{\text{у,ном}}$		
$i_{\text{уд}}^{10} \leq i_{\text{ном,дин}}$		
$B_k^{10} \leq I_{\text{ном,Т}}^2 t_{\text{ном,Т}}$		

Таблиця 9.3. Вибір секційного роз'єднувача 10 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{10} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{10} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{10} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{10} \leq I_{ном,Т}^2 t_{ном,Т}$		

Визначаємо тривалі струми на стороні 0,4 кВ:

- у нормальному режимі (струм через секційний рубильник не протікає)

$$I_{р,норм}^{0,4} = \frac{0,8 S_{тр.ном}}{\sqrt{3} U_{с,ном}^{0,4}}, \text{ А} \quad (9.4)$$

- у ремонтному чи післяаварійному режимах, які допускають відключення одного із трансформаторів

$$I_{р,утж}^{0,4} = \frac{1,6 S_{тр.ном}}{\sqrt{3} U_{с,ном}^{0,4}}, \text{ А} \quad (9.5)$$

- струм через секційний рубильник .

$$I_{р,утж}^{ср} = \frac{I_{р,утж}^{0,4}}{2}, \text{ А} \quad (9.6)$$

Вибір плавких запобіжників 0,4 кВ проводимо аналогічно вибор запобіжників 10 кВ. Для вибору устаткування ТП на стороні низької напруги потрібно зробити розрахунок струму трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ.

Визначаємо опір трансформатора:

$$Z_{тр} = \frac{10 U_k U_{НВ}^2 S_{\delta}}{S_{тр} U^2}, \text{ Ом} \quad (9.7)$$

Сумарний опір до місця КЗ визначимо з урахуванням значення еквівалентного опору мережі до цього місця з табл. 8.1.

$$Z_{сум} = Z_{екв,К1} + Z_{тр}, \text{ Ом.} \quad (9.8)$$

Струм трифазного короткого замикання на шинах 0,4 кВ ТП:

$$I_{КЗ}^{(3)0,4} = \frac{U_{\delta} U_{в,ном}}{\sqrt{3} Z_{сум} U_{н,ном}}, \text{ кА} \quad (9.9)$$

Ударний струм короткого замикання:

$$i_{уд}^{0,4} = 2,55 I_{КЗ}^{(3)0,4}, \text{ кА} \quad (9.10)$$

Так як вторинна обмотка трансформаторів струму розрахована на підключення стандартних приладів, то перевірку трансформаторів по навантажувальній здібності не робимо.

9.1 Вибір засобів релейного захисту, автоматики і телемеханіки для розподільної мережі 10 кВ

При виборі типу захистів, обсягу автоматизації і телемеханізації в мережі 10 кВ будемо керуватися рекомендаціями, викладеними в розділі 6 [1]. Відповідно до цих рекомендацій як основний вид захистів КЛ 10 кВ від багатофазних коротких замикань приймаємо максимальний токовий захист із витримкою часу. Час дії захисту приймаємо мінімальним, виходячи з умови селективності. При цьому будемо пам'ятати, що граничний час відключення КЗ нами прийняте $\tau_{\text{пр}} = \tau_3 + \tau_{\text{відкл}} = 0,52 \text{ с}$ у випадку, якщо за умовами селективності в ці межі вклястися не можливо, то:

- будемо використовувати токові відсічення з часом дії 0,2(0,3);
- для виправлення неселективної роботи відсічень на вимикачах лінії розглянемо варіант застосування на цих лініях АПВ одноразової дії.

Таблиця 9.4 - Вибір секційного рубильника

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{c, \text{ном}}^{0,4} \leq U_{y, \text{ном}}$		
$I_{\text{доп}} = I_{p, \text{утж}}^{\text{срб}} \leq I_{y, \text{ном}}$		
$i_{y\partial}^{0,4} \leq i_{\text{ном}, \text{дин}}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{\text{ном}, T}^2 t_{\text{ном}, T}$		

Таблиця 9.5 - Вибір автоматичного вимикача 0,4 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{c, \text{ном}}^{0,4} \leq U_{y, \text{ном}}$		
$I_{\text{доп}} = I_{p, \text{утж}}^{0,4} \leq I_{y, \text{ном}}$		
$i_{y\partial}^{0,4} \leq i_{\text{ном}, \text{дин}}$		

Таблиця 9.6. Вибір рубильника 0,4 кВ на ввіді від трансформатору

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{c, \text{ном}}^{0,4} \leq U_{y, \text{ном}}$		
$I_{\text{доп}} = I_{p, \text{утж}}^{0,4} \leq I_{y, \text{ном}}$		
$i_{y\partial}^{0,4} \leq i_{\text{ном}, \text{дин}}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{\text{ном}, T}^2 t_{\text{ном}, T}$		

Таблиця 9.7 - Вибір трансформаторів струму 0,4 кВ

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_{с,ном}^{0,4} \leq U_{у,ном}$		
$I_{доп} = I_{р,утж}^{0,4} \leq I_{у,ном}$		
$i_{уд}^{0,4} \leq i_{ном,дин}$		
$B_k^{0,4} \leq I_{ном,T}^2 t_{ном,T}$		

При цьому необхідно пам'ятати, що відсічення необхідно відбудувати від струмів КЗ на шинах 0,4 кВ у ТП.

На секційних вимикачах Цп 10 кВ передбачаємо максимальний токовий захист із прискоренням дії після роботи АВР.

Для захисту трансформаторів у ТП із боку 10 кВ будемо використовувати запобіжники типу ПКТ із перевіркою забезпечення селективності їхньої роботи з максимальним токовим захистом на вимикачах ЦП і вимикачах АВМ із боку 0,4 кВ.

Для захисту кабельних ліній, що відходять 0,4 кВ у розподільчих панелях ІДО-90 установлюємо закриті плавкі запобіжники типу ПН2. Вибір плавких запобіжників було представлено раніше (дані вибору зведені в таблицю 9.1).

При розрахунку токового захисту варто пам'ятати, що для двопроточних схем мережі з АВР, як це прийнято в данному проекті, на напрузі 10 кВ тривала рівнобіжна робота трансформаторів не допускається.

Захист мереж 10 кВ від замкнення на землю з дією на сигнал передбачаємо на шинах ЦП ПС.

Конкретні питання телемеханізації мережі в данному проекті не проробляються. Загальний обсяг телемеханізації в ЦП передбачаємо наступний:

- а) телемеханізація положення масляних вимикачів у ЦП;
- б) телевимірювання навантажень і напруги;
- в) аварійно-попереджувальну сигналізація з наступними сигналами:
 - «аварія»,
 - «ремонт»,
 - «земля на шинах».

З огляду на близькість живильних ПС до диспетчерської як канали зв'язку для ланцюгів телемеханіки передбачаємо використання спеціальних ліній зв'язку.

9.2 Перевірка необхідності установки ДГР

Відповідно до п.1.2.16 ПУЕ в мережі з ізольованою нейтраллю, у тому числі 10 кВ при визначених значеннях ємнісного струму замкнення на землю необхідно передбачити компенсацію ємнісних струмів. Для кабельних мереж 10 кВ компенсація ємнісних струмів замкнення на землю передбачається при струмах у нормальному режимі більш 20 А.

Компенсація ємнісних струмів однофазного замкнення на землю в розподільчій мережі 10 кВ здійснюється шляхом установки дугогасячих реакторів, що заземлюють, у РП 10 кВ ПС 110/10 кВ.

У системах електропостачання міст на енергопостачальних двотрансформаторних ПС-110/10 трансформатори працюють роздільно. Тобто ПС має дві секції 10 кВ. Необхідно розрахувати величину ємнісних струмів кожної секції РП 10 кВ ПС при різних схемах роботи мережі.

Величину ємнісного струму замкнення на землю кожної секції будемо знаходити шляхом множення питомого значення ємнісних струмів однофазного замкнення на землю на сумарну довжину кабелів даного перерізу. Довжини і перерізи ділянок КЛ приймемо по таблиці 9.9, питомі значення ємнісних струмів на погонний кілометр струмів приведені в таблиці 9.8. Також будемо враховувати кількість рівнобіжних кабелів на одну секцію. При цьому, оскільки кабелі по секціях ПС розподілені рівномірно, отже і струми замкнення на землю на кожній секції вважаємо приблизно однаковими. Дані розрахунку зводимо в таблицю 9.8.

Таблиця 9.8 - Питомі ємнісні струми однофазного замкнення на землю

Переріз кабелю, мм ²	35	50	70	95	120	150	185
Питомий струм, А/км	0,69	0,77	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4

Таблиця 9.9 - Розрахунок струмів замкнення на землю в мережі 10 кВ при нормальному і аварійному режимі роботи мережі (на одну секцію ПС)

Ділянка	Довжина КЛ, км	Переріз, №	Кільк. Кабелів на 1 секцію	Ємнісний струм ділянки, А
W0-4	0,16	3x95	1	0,16
4-3	0,30	3x70	1	0,27
3-2	0,33	3x50	1	0,25
2-1	0,16	3x35	1	0,11
W0-5	0,45	3x95	1	0,45
5-13	0,21	3x70	1	0,19
13-18	0,34	3x50	1	0,26
8-7	0,16	3x35	1	0,11
W0-6	0,31	3x120	1	0,34
6-12	0,33	3x95	1	0,33
12-11	0,25	3x95	1	0,25
11-14	0,21	3x70	1	0,19
14-10	0,23	3x50	1	0,18
10-9	0,26	3x35	1	0,18

Таким чином, значення струмів нижче зазначених у ПУЕ і встановлювати ДГР не треба.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Государственные строительные нормы Украины. Проектирование электрооборудования жилых и общественных зданий и сооружений. ДБН В. 2.5-23-2003. Государственный комитет Украины по строительству и архитектуре. - К., 2004.
2. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 6- 750 кВ. ГКД 341.004.001-94. Министерство энергетики и электрификации Украины. - К., 1994.
3. Пособие по проектированию городских и поселковых электрических сетей (к ВСН 97-83). –М.: Стройиздат, 1987.
4. В.М. Блок, Г.К. Обушев Л.Б. Паперно и др. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электротехнических специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1990. –383с.
5. Методические указания по курсовому и дипломному проектированию систем электроснабжения города. Сост. Ю.М. Блажко. –Харьков: ХИИГХ, 1992.
6. Методические указания к дипломному и курсовому проектированию “Электроснабжение района города” дневной и заочной форм обучения. Сост. Е. Т. Манько и др. – Харьков: ХПИ, 1988.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Уч. пособие для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 608 с.
8. Рожкова Л.Д., Колулин В.С. Электрическое оборудование станций и подстанций. Уч. пособие.- М.: Энергоатомиздат, 1987.- 648 с.
9. Голубев М.Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4-35 кВ. - М.: Энергия, 1980.- 88 с.

ДОДАТКИ

Таблиця 1 – Питомі розрахункові електричні навантаження житла 1-го і 2-го видів

Споживачі електроенергії	Значення показника, кВт/житла при кількості житла														
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1. Житло 1-го виду															
1.1 I рівня електрифікації в будинках з плитами на природному газі	5,00	3,85	3,23	2,72	2,36	2,10	1,91	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,74	0,66	0,60
1.2 II рівня електрифікації в будинках з плитами на зрідженому газі і на твердому паливі	6,50	5,01	4,20	3,53	3,07	2,73	2,48	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86	0,78
1.3 III рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт	10,00	8,19	5,56	4,44	3,76	3,33	3,05	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19	1,10
1.4 IV рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю 10,5 кВт	12,00	9,83	6,67	5,33	4,51	3,99	3,66	3,26	2,82	2,52	2,08	1,65	1,58	1,43	1,32
1.5 V рівня електрифікації в будинках на ділянках садових товариств	3,50	2,84	1,91	1,47	1,22	1,07	0,96	0,83	0,66	0,58	0,52	0,48	0,47	0,46	0,41
2. Житло 2-го виду															
2.1 I рівня електрифікації в будинках з плитами на природному газі	9,00	6,33	5,29	4,36	3,72	3,26	2,94	2,51	2,00	1,78	1,62	1,47	1,24	1,08	0,99
2.2 II рівня електрифікації в будинках з електроплитами потужністю 10,5 кВт за індивідуальним проектом	16,00	13,05	8,34	6,41	5,39	4,77	4,36	3,83	3,18	2,83	2,51	2,16	1,88	1,77	1,76

Таблиця 2 – Значення коефіцієнта одночасності $K_{од}$

Характеристика котеджу	Коефіцієнт одночасності $K_{од}$ при кількості житла (котеджів)												
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400
3 плити на природному газі	1	0,65	0,51	0,38	0,32	0,28	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11
3 електроплитами потужністю до 10,5 кВт	1	0,81	0,50	0,38	0,32	0,29	0,27	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
Те саме з повним електроопаленням пл. 150м ²	1	0,87	0,65	0,56	0,52	0,50	0,49	0,47	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
Те саме з повним електроопаленням пл.300 м ²	1	0,90	0,73	0,66	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,53	0,52
Те саме з повним електроопаленням пл. 600 м ²	1	0,93	0,81	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,675	0,67
Примітка. Коефіцієнти одночасності для всіх котеджів подані з урахуванням проточних електро-водопідігрівальних приладів. Для котеджів з електроопаленням значення $K_{од}$ подані для режиму постійного ввімкнення електроопалювальних приладів протягом опалювального сезону і не дійсні для електротеплоаккумуляційних систем, що працюють в період мінімальних навантажень системи.													

Таблиця 3 – Коефіцієнти попиту для ліфтових установок

Кількість ліфтових установок	К сп.л для будинків висотою	
	до 12 поверхів	12 і більше поверхів
2-3	0,80	0,90
4-5	0,70	0,80
6	0,65	0,75
10	0,50	0,60
20	0,40	0,50
25 и більше	0,35	0,40

Примітка. Коефіцієнт попиту для кількості ліфтових установок, не вказаних в таблиці, визначаємо інтерполяцією

Таблиця 4 – Значення коефіцієнта попиту Ксп.сан для сантехнічних установок

Питома вага встановленої потужності працюючого сантехнічного і холодильного обладнання, включаючи системи кондиціонування повітря, в загальній встановленій потужності працюючих силових електроприймачів, %	К сп.сан при кількості електроприймачів											
	2	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200	
100-85	1 (0,8)	0,90 (0,75)	0,80 (0,7)	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	
84-75			0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	
74-50			0,70	0,65	0,65	0,6	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	
49-25			0,65	0,60	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	
24 і менше			0,60	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	

Примітки 1. У встановлену потужність резервні електроприймачі не включаються.
2. У дужках наведені коефіцієнти попиту для електродвигунів одиначної потужності більше 30 кВт.
3. Коефіцієнт попиту для кількості приєднаних електроприймачів, не вказаних в таблиці, визначається інтерполяцією.

Таблиця 5 — Питоми розрахункові навантаження вуличного освітлення

Категорія вулиць і доріг	Характеристика	Нацбільша інтенсивність руху в обох напрямках, Од/годину	Питоме навантаження, кВт/км
А	Магістральні вулиці загальноміського значення, скоростні дотори	500-3000 і більше	80-100
Б	Магістральні вулиці районного значення	500-2000 і більше	30-80
В	Вулиці і дотори місцевого значення	До 500	7-10

Таблиця 6 – Коефіцієнти участі в максимумі навантаження

Назва споруди (помешкання) найбільшого розрахункового навантаження	Житлові будинки з електроплитами	Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	Установи громадського харчування - їдальні	Установи громадського харчування – ресторани і кафе	Середні навчальні заклади	Загальноосвітні школи, ПТУ	Установи адміністративно-управлінські, фінансові, проектно-конструкторські	Торговельні підприємства одноступінні	Торговельні підприємства півтора й двоступінні	Готелі	Перукарні	Дошкільні дитячі заклади	Поліклініки	Комбінати побутового обслуговування, ательє	Підприємства комунального обслуговування	Культові, видовищні установи, кінотеатри
Житлові будинки з електроплитами	—	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	0,9	—	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Школи, середні навчальні заклади, ПТУ, бібліотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Торговельні підприємства одно-, півтори-, двоступінні	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Установи управління, фінансові, адміністративні будівлі підприємств і проектно-конструкторські організації	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Готелі	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6 ¹	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поліклініки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ательє і комбінати побутового обслуговування	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Культові, видовищні установи, кінотеатри	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	
Примітка. Якщо від ТП живляться декілька споживачів з рівними або близькими до рівних навантаженнями, розрахунок слід виконувати відносно того навантаження, при якому P_{\max} отримується найбільшим.																

Таблиця 7 – Значення розрахункових коефіцієнтів потужності

Лінія живлення	Розрахункові коефіцієнти	
	потужності ($\cos \varphi$)	рактивного навантаження ($\operatorname{tg} \varphi$) $\operatorname{tg} \varphi$
Квартири з електричними плитами	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами та побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі і з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Загальнобудинкове освітлення: з лампами розжарювання	1,00	0,00
Те саме з люмінесцентними лампами	0,92	0,43
Господарські насоси, вентиляційні установки та інші санітарно-технічні пристрої	0,80	0,75
Ліфти	0,65	1,17
Примітка. Коефіцієнт потужності лінії, що живить один електродвигун, приймають за каталожними даними цього двигуна		

Таблиця 8 – Номінальні потужності ліфтів

Кількість поверхів будівлі	6—9	12	16	20—25
Кількість ліфтів в одній секції	1	2	2	2—3
Номінальна потужність двигунів, кВт	7	7; 11	11	7; 11—15

Таблиця 9 - Коефіцієнти суміщення максимуму навантаження ТП, що живляться від даного РП

Кількість ТП	3 - 5	6 – 10	11 – 20	21 і більше
Коефіцієнт суміщення	0,90	0,80	0,75	0,70

Таблиця 10 – Економічна щільність струму, А/мм²

Дроти, кабелі	Тривалість використання максимуму навантаження, год/рік		
	1000-3000	3000-5000	5000-8700
Голі дроти й шини мідні	2,5	2,1	1,8
Те саме, алюмінієві	1,3	1,1	1,0
Кабелі з паперовою і дроти з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами	3,0	2,5	2,0
Те саме з алюмінієвими	1,6	1,4	1,2
Кабелі з гумовою та пластмасовою ізоляцією з мідними жилами	3,5	3,1	2,7
Те саме з алюмінієвими	1,9	1,7	1,6

Таблиця 11 – Орієнтовні питомі розрахункові електричні навантаження громадських будівель і споруд громадського призначення

Об'єкти масового будівництва	Одиниця виміру	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужність (cos φ)	реактивне навантаження (tg φ)
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування	кВт на місце			
а) повністю електрифіковані з кількістю місць до 500 включно		1,03	0,98	0,20
б) з кількістю місць більше 500 до 1000 включно		0,85	0,98	0,20
в) з кількістю місць більше 1000				
г) частково електрифіковані (з плитами на газоподібному паливі) з кількістю місць до 500 включно		0,75 0,80	0,98 0,95	0,20 0,33
д) з кількістю місць більше 500 до 1000 включно		0,70	0,95	0,33
е) з кількістю місць вище 1000		0,60	0,95	0,33
Підприємства роздрібно́ї торгівлі:	кВт на м торг.залу			
а) продовольчі без кондиціонування повітря		0,23	0,85	0,62
б) продовольчі з кондиціонуванням повітря		0,25	0,80	0,75
в) промтоварні без кондиціонування повітря		0,14	0,85	0,62
г) промтоварні з кондиціонуванням повітря				
д) універсами без кондиціонування повітря		0,15 0,15	0,8 0,87	0,75 0,57
е) універсами з кондиціонуванням повітря		0,20	0,85	0,62
1	2	3	4	5
Загальноосвітні школи:	кВт на одного учня			
а) з електрифікованими їдальнями і спортзалами.		0,25	0,95	0,33
б) без електрифікованих їдалень, зі спортзалами		0,17	0,90	0,48
в) з буфетами, без спортзалів		0,17	0,90	0,48
г) без буфетів і спортзалів		0,15	0,90	0,48
Професійно-технічні навчальні заклади з їдальнями	кВт на одного учня	0,45	0,80-0,92	0,75-0,48
Дитячі дошкільні заклади:	кВт на місце			
а) з електрифікованими кухнями		0,45 0,20	0,98	0,20
б) з газовими плитами				
Школи-інтернати	кВт на місце	1,10	0,95	0,33
Будинки-інтернати для інвалідів та людей похилого віку	кВт на место	2,20	0,93	0,40
Установи охорони здоров'я та відпочинку:	кВт на ліжко-місце			
а) лікарні хірургічного профілю з електрифікованими кухнями		2,50	0,92	0,43
б) хірургічні корпуси (без кухонь)		0,80	0,95	0,33
в) лікарні багатопрофільні з електрифікованими кухнями		2,20	0,93	0,40
г) терапевтичні корпуси (без кухонь)		0,50	0,95	0,33
д) радіологічні корпуси (без кухонь)		0,70	0,95	0,33
е) лікарні дитячі з електрифікованими кухнями		2,00	0,93	0,40
ж) терапевтичні корпуси дитячих лікарень (без кухонь)		0,40	0,95	0,33
Будинки відпочинку та пансіонати	кВт на місце			
без кондиціонування повітря		0,40	0,92	0,43
Дитячі табори	кВт на м ² житл.помешк.	0,03	0,92	0,43
Поліклініки	кВт на відв. за зміну	0,15	0,92	0,43
Аптеки:	кВт на м ² торг. залу			
а) без приготування ліків		0,12	0,93	0,40
б) з приготуванням ліків		0,17	0,90	0,48
Кінотеатри та кіноконцертні зали:	кВт на місце			
а) з кондиціонуванням повітря		0,15	0,92	0,43
б) без кондиціонування повітря		0,12	0,95	0,33
Театри й цирки	кВт на місце	0,35	0,9	0,48
Палаці культури, клуби	кВт на місце	0,45	0,92	0,43

Продовження табл. 11

1	2	3	4	5
Готелі (без ресторанів);				
а) з кондиціонуванням повітря	кВт на місце	0,50	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,35	0,85	0,62
Фабрики хімчистки та пральні самообслуговування	кВт/кг речей	0,08	0,75	0,88
Комбінати побутового обслуговування населення	кВт на роб. місце	0,60	0,85	0,62
Перукарні	кВт на роб. місце	1,45	0,97	6,25
Гуртожитки:				
а) з електроплитами на кухнях	кВт на місце	0,50	0,95	0,33
б) без електроплит на кухнях		0,20	0,93	0,40
Споруди (приміщення) для науково-дослідних установ, проектних, управлінських, громадських організацій і культових споруд, адміністративних будівель підприємств	кВт на м ² корисної площі			
а) з кондиціонуванням повітря		0,055	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,04	0,90	0,48
Навчальні корпуси вищих, середніх спеціальних навчальних закладів (без їдалень):	кВт на м ² корисної площі	0,05	0,90	0,48
а) з кондиціонуванням повітря		0,05	0,90	0,48
б) без кондиціонування повітря		0,035	0,92	0,43
Лабораторні корпуси вищих, середніх спеціальних навчальних закладів (без їдалень):	кВт на м ² корисної площі			
а) з кондиціонуванням повітря		0,07	0,85	0,62
б) без кондиціонування повітря		0,055	0,87	0,57
Гаражі (стоянки) індивідуального автотранспорту:	кВт/місце			
а) стаціонарні відкриті стоянки		0,05	0,90	0,48
б) закриті гаражі-бокси		0,12	0,90	0,48
в) закриті багатоповерхові та підземні гаражі		0,22	0,87	0,57
Примітки				
1. Наведені питомі електричні навантаження призначені для орієнтовного (попереднього) визначення розрахункового навантаження на вводах до ординарних об'єктів (споруд, приміщень) і враховують усереднений комплекс електроприймачів, що встановлюють (включаючи комп'ютерну техніку).				
2. Для підприємства громадського харчування питоме навантаження не залежить від наявності кондиціонерів повітря.				
3. Для професійних навчальних закладів з їдальнями та дитячими дошкільними закладами навантаження басейнів і спортивних залів не враховані.				
4. Для будинків відпочинку та пансіонатів без кондиціонування повітря, дитячих таборів, готелів (без ресторанів), будинків (приміщень) для науково-дослідних закладів, проектних, управлінських, громадських організацій, культових споруд, адміністративних будівель підприємств, навантаження їдалень закритого типу та ресторанів не врахована. При необхідності її слід визначати за питомими показниками підприємств громадського харчування із заданою кількістю місць.				
5. Для побутових будівель підприємств використовують зафіксовані в таблиці показники відповідних за призначенням громадських споруд.				

Таблиця 12 – Припустимі тривалі струмові навантаження (А) на кабелі з мідними (чисельник) та алюмінієвими (знаменник) жилами, з паперовою просоченою маслосолотаніфольною та нестікаючою ізоляцією у свинцевій або алюмінієвій оболонці

Переріз, мм ²	При прокладанні у повітрі					При прокладанні в землі				
	Двожильні до 1 кВ	трижильні			Чотирьохжильні до 1 кВ	Двожильні до 1 кВ	трижильні			Чотирьохжильні до 1 кВ
		до3 кВ	6 кВ	10 кВ			до 3 кВ	6 кВ	10 кВ	
	Максимально припустима температура жил, °С									
	80	80	65	60	80	80	80	65	60	80
2,5	30/23	28/22				45/35	40/31	-	-	-
4	40/31	37/29	-	-	35/27	60/46	55/42	-	-	50/38
6	55/42	45/35	-	-	45/35	80/60	70/55	-	-	60/46
10	75/55	60/46	55/42	-	60/45	105/80	95/75	80/60	-	85/65
16	95/75	80/60	65/50	60/46	80/60	140/110	120/90	105/80	95/75	115/90
25	130/100	105/80	90/70	85/65	100/75	185/140	160/125	135/105	120/90	150/115
35	150/115	125/95	110/85	105/80	120/95	225/175	190/145	160/125	150/115	175/135
50	185/140	155/120	145/110	135/105	145/110	270/210	235/180	200/155	180/140	215/165
70	225/175	200/155	175/135	165/130	185/140	325/250	285/220	245/190	215/165	265/200
95	275/210	245/190	215/165	200/155	215/165	380/290	340/260	295/225	265/205	310/240
120	320/245	285/220	250/190	240/185	260/200	435/335	390/300	340/260	310/240	350/270
150	375/290	330/255	290/225	270/210	300/230	500/385	435/335	390/300	353/275	395/305
185	-	375/290	325/250	305/235	340/260	-	490/380	440/340	400/310	450/345
240	-	430/330	375/290	350/270	-	-	570/440	510/390	460/355	-

Таблиця 13 – Поправні коефіцієнти на кількість працюючих кабелів, що лежать поряд в землі (в трубах та без труб)

Відстань на світлі, мм;	Кількість кабелів					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблиця 14 – Припустиме короткочасне перевантаження для кабелів напругою до 10 кВ з паперовою просоченою ізоляцією

Коефіцієнт попереднього навантаження	Вид прокладки	Припустиме перевантаження відносно номінального на протязі, год		
		0,5	1,0	3,0
0,6	В землі	1,35	1,30	1,15
	В повітрі	1,25	1,15	1,10
	В трубах (в землі)	1,20	1,10	1,0
0,8	В землі	1,20	1,15	1,10
	В повітрі	1,15	1,10	1,05
	В трубах (в землі)	1,10	1,05	1,00

Таблиця 15 – Поправний коефіцієнт K_t на температуру землі

Нормована температура жил, °С	Поправний коефіцієнт на струми при температурі землі, °С										
	-5 і нижче	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45
80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,0	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57

Таблиця 16 – Поправний коефіцієнт K_c на питомий тепловий опір землі

Характеристика землі	Питомий тепловий опір, см*К /Вт	Поправний коефіцієнт
Пісок вологістю більше 9%	80	1,05
Нормальний ґрунт та пісок вологістю 7-9%	120	1,00
Пісок вологістю більше 4, але менше 7%	200	0,87
Пісок вологістю до 4%, каменистий ґрунт	300	0,75

Таблиця 17 – Активні r_k й індуктивні x_k опори кабелів з алюмінієвими жилами та паперовою просоченою ізоляцією

Переріз струмопровідної жили, мм ²	Активний опір жили, Ом/км	Індуктивний опір, Ом/км, при номінальній напрузі кабелю, кВ	
		До 1	10
50	0,62	0,0625	0,090
70	0,443	0,0612	0,086
95	0,326	0,0602	0,083
120	0,258	0,0602	0,081
150	0,206	0,0596	0,079
185	0,167	0,0596	0,077
240	0,129	0,0587	0,075

Таблиця 18 - Припустимий тривалий струм кабелів з алюмінієвими жилами з паперовою просоченою або пластмасовою ізоляцією, що прокладаються в землі

Переріз струмоведучої жили, мм ²	Струм кабелів, А		
	З паперовою ізоляцією		З пластмасовою ізоляцією
	4 ^х –жилінні до 1 кВ	3 ^х –жилінні до 10 кВ	4 ^х –жилінні до 1 кВ
10	65	-	64
16	90	75	85
25	115	90	106
35	135	115	129
50	165	140	161
70	200	165	193
95	240	205	235
120	270	240	271
150	305	275	308
185	345	310	354
240	-	355	-

Таблиця 19 – Питоме навантаження житлових будинків, Вт/м², коефіцієнт потужності

Кількість поверхів	Вид плит		
	на природному газі	на зрідженому газі або твердому паливі	електричні
1-2	9,5/0,96	11,7/0,96	20/0,98
3-5	9,3/0,96	11,2/0,96	18,2/0,98
5 і більше (частина квартир в будинках вище 5 поверхів)			
20%	10,2/0,94	12,2/0,94	19,8/0,97
50%	10,9/0,93	16,5/0,93	20,4/0,97
100%	12,0/0,92	18,0/0,92	21,5/0,96

ЗМІСТ

	Стор.
1. Загальні вказівки	3
2. Завдання на курсове проектування і короткий зміст пояснювальної записки	3
3. Визначення розрахункових навантажень	5
3.1. Визначення розрахункових навантажень на введеннях житлових будинків	6
3.2. Розрахунок навантажень громадських і комунальних будинків	9
3.3. Розрахунок навантаження зовнішнього освітлення	9
3.4. Визначення потужності мікрорайону міста	11
4. Визначення кількості підстанцій в мікрорайоні	13
5. Розподіл навантаження мікрорайону по підстанціях	14
6. Розміщення трансформаторних підстанцій на плані мікрорайону	15
7. Вибір схеми електропостачання району міста	18
7.1. Вибір і розрахунок живильної мережі напругою 10 кВ	18
7.2. Вибір розподільчої мережі напругою 0,4 і 10 кВ	21
7.3. Розрахунок розподільної електричної мережі 10 кВ	28
7.4. Розрахунок розподільної електричної мережі 0,4 кВ	35
8. Розрахунок струмів короткого замикання у розподільній мережі 10 кВ	40
9. Перевірка устаткування ПС і ТП	44
9.1. Вибір засобів релейного захисту, автоматики і телемеханіки для розподільної мережі 10 кВ	47
9.2. Перевірка необхідності установки ДГР	48
Список використаних джерел	50
Додатки	51

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання курсового проекту
«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАЙОНУ МІСТА»
з курсу

**«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ І
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ»**

*(для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання
та слухачів 2-ої вищої освіти спеціальності 7.05070103,
8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Укладачі: **ХАРЧЕНКО** Віктор Федорович,
ВОРОПАЙ Валентина Григорівна,
ГАРЯЖА Василь Миколайович

Відповідальний за випуск *В. А. Маляренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2012, поз. 664 М

Підп. до друку 18.06.2012

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 3,5

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.